

BETONILATTIAN ”RIITTÄVÄN” KUIVUMISEN MÄÄRITTÄMINEN UUDISRAKENTAMISESSA

Tarja Merikallio



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
TEKNISKA HÖGSKOLAN
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
TECHNISCHE UNIVERSITÄT HELSINKI
UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE D'HELSINKI

BETONILATTIAN ”RIITTÄVÄN” KUIVUMISEN MÄÄRITTÄMINEN UUDISRAKENTAMISESSA

Tarja Merikallio

Tekniikan tohtorin tutkinnon suorittamiseksi laadittu väitöskirja, joka esitetään Teknillisen korkeakoulun Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunnan luvalla julkisesti tarkastettavaksi korkeakoulun luentosalissa R1 kesäkuun 17. päivänä 2009, kello 12.

Jakelu:

Teknillinen korkeakoulu

Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos

PL 2100

02015 TKK

FINLAND

Puh. +358 (9) 451 3701

Fax.+ 358 (9) 451 3826

E-mail:elsa.nissinen-narbro@tkk.fi

© 2009 Tarja Merikallio ja Teknillinen korkeakoulu

TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos

Kansikuva: Tarja Merikallio

ISBN 978–951–22-9956-0

ISBN 978-951-22-9957-7 (PDF)

ISSN 1797-481X (painettu)

ISSN 1797-4828 (PDF)

1. painos

Multiprint Oy

Espoo 2009

VÄITÖSKIRJAN TIIVISTELMÄ		TEKNILLINEN KORKEAKOULU PL 1000, 02015 TKK, http://www.tkk.fi	
Tekijä		Tarja Merikallio	
Väitöskirjan nimi		Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa	
Käsi kirjoituksen päivämäärä	26.3.2009	Väitöstilaisuuden ajankohta	17.6.2009
<input checked="" type="checkbox"/> Monografia		<input type="checkbox"/> Yhdistelmäväitöskirja (yhteenvedo + erillisartikkelit)	
Tiedekunta	Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta		
Laitos	Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos		
Tutkimusala	Rakentamistalous		
Vastaväittäjä	Professori Ralf Lindberg, Tampereen teknillinen yliopisto		
Esitarkastajat	Professori Matti Pentti, Tampereen teknillinen yliopisto Tekniikan tohtori Risto Mannonen, Suomen Betoniyhdistys ry		
Työn valvoja	Professori Jouko Kankainen, Teknillinen korkeakoulu		
Työn ohjaaja	Professori Jouko Kankainen, Teknillinen korkeakoulu		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kosteusvaurioiden välttämiseksi betonilattioiden tulee antaa kuivua ennen lattianpäällystystyöhön ryhtymistä. Riittävä kuivuminen varmistetaan yleensä kosteusmittauksin. Kosteusmittaustuloksella ja tuloksen tulkinnalla on merkittävä taloudellinen vaikutus rakennushankkeessa. Virheellisesti tehty mittausta tai tulkittu mittaustulos voivat johtaa lattianpäällystystyön aloituksen viivästymiseen ja sitä kautta lisäkustannuksiin. Toisaalta virheellinen mittausta voi johtaa liian aikaisen päällystämisen seurauksena syntyvään kosteusvaurioon ja siitä aiheutuviin sekä toiminnallisiin, taloudellisiin että terveydellisiin haittoihin.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitkä eri osatekijät vaikuttavat prosessissa, jonka lähtökohta on varmistaa, että betonilattia on riittävän kuiva, ja millaisiin johtopäätöksiin nämä eri tekijät voivat johtaa. Tutkimusmenetelmänä käytetään kuvailevaa tutkimusta, jossa tarkoituksena on kuvata ja ymmärtää betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämisprosessia.</p> <p>Tutkimuksen merkittävimpänä uutuusarvona on betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyvien epävarmuustekijöiden tunnistaminen sekä osoittaminen, miten nämä tekijät vaikuttavat betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan. Tutkimus osoitti, että betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämisprosessiin liittyy hallitsematonta hajontaa. Hajontaa aiheuttavia tekijöitä ovat sekä päällystymateriaalikohtaiset alustabetonin kriittiset kosteusraja-arvot että kosteusmittausmenetelmät. Päällystymateriaalien kriittisissä kosteusarvoissa on eroja riippuen siitä, mistä lähteestä arvo on otettu. Kosteusraja-arvoille ei löydy tieteellisiä perusteita eivätkä ne ota huomioon betonilattian ja päällysteiden kosteudensiirto-ominaisuuksia. Raja-arvot vaikuttavat kuitenkin merkittävästi betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan. Vaadittava kuivumisaika voi myös vaihdella useita viikkoja riippuen käytetystä kosteusmittausmenetelmästä. Lisäksi itse mittaukseen liittyy lukuisia mittaustulokseen ja tuloksen tulkintaan vaikuttavia epävarmuustekijöitä. Mittaukseen liittyvissä ohjeissa ja käytännön mittauksissa näitä tekijöitä ei ole otettu huomioon. Toisaalta useimpien menetelmään liittyvien epävarmuustekijöiden aiheuttaman virheen suuruutta ja suuntaa on käytännössä lähes mahdotonta määrittää.</p> <p>Tutkimuksen perusteella voidaan tunnistaa selkeä jatkotutkimus- ja tuotekehitystarve uuden menetelmä luomiseksi. Toimenpide-ehdotuksena on kehittää rakennusfysikaalinen laskentaohjelma, jonka perusteella tapauskohtaisesti voidaan määrittää kunkin betonilattiarakenteen vaadittava kuivumisaika sekä tunnistaa rakenteeseen liittyvät kosteustekniset riskit. Menetelmän luominen edellyttää muun muassa eri betonien ja päällystymateriaalien kosteudensiirto-ominaisuuksiin liittyviä tutkimuksia.</p> <p>Asiasanat : betonilattia, lattianpäällyste, kosteus, kosteusmittaus, kuivuminen</p>			
ISBN (painettu)	978-951-22-9956-0	ISSN (painettu)	1797-481X
ISBN (pdf)	979-951-22-9957-7	ISSN (pdf)	1797-4828
Kieli	Suomi	Sivumäärä	136
Julkaisija		TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos	
Painetun väitöskirjan jakelu		TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos	
<input checked="" type="checkbox"/> Luettavissa verkossa osoitteessa http://lib.tkk.fi/Diss/			

ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION		HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY P.O. BOX 1000, FI-02015 TKK., http://www.tkk.fi	
Author Tarja Merikallio			
Name of the dissertation: Evaluation of adequate drying of a concrete floor during construction process			
Manuscript submitted March 26, 2009		Date of the dissertation June 17, 2009	
<input checked="" type="checkbox"/> Monograph		<input type="checkbox"/> Article dissertation (summary + original articles)	
Faculty	Faculty of Engineering and Architecture		
Department	Department of Structural Engineering and Building Technology		
Field of research	Construction Economics and Management		
Opponent(s)	Professor Ralf Lindberg, Tampere University of Technology		
Pre-examiners	Professor Matti Pentti, Tampere University of Technology Dr. Tech Risto Mannonen, Concrete Association of Finland		
Supervisor	Professor Jouko Kankainen, Helsinki University of Technology		
Instructor	Professor Jouko Kankainen, Helsinki University of Technology		
<p>Abstract</p> <p>Most of the moisture problems in concrete floors can be prevented by drying the concrete slab adequately before floor covering installation. Adequate drying is usually evaluated by moisture measurement. The economical effect of the measurement in building project can be significant. Incorrectly measuring or misinterpretation of the measuring results can lead to delay of schedule of the installation work and in that way can cause additional costs. On the other hand, the incorrect moisture measurement can also lead to too early installation with consequences being very expensive due to moisture damage. The aim of the study is to identify factors that have an effect on the process of evaluating adequate drying of a concrete floor, and what the influences of those factors are. Research questions are solved by using a descriptive research method. The goal is to describe and understand the evaluation process of the adequate drying of a concrete floor.</p> <p>The most important novelty value of the study is an identification of factors of uncertainty in relation to the evaluation process of the adequate drying of a concrete floor, and verification of how they effect on the required drying time. The study concluded that the concerned process includes uncontrolled divergences. The factors cause the divergences are critical moisture values as well as moisture measurement methods. There are variations between the critical moisture values of the same floor covering material depending on source of information. There was not any scientific argument found for those critical moisture values either and moisture flow properties of the materials are not taken into consideration. Nevertheless, those values have a considerable effect on the required drying time of a concrete floor. Furthermore the required drying time can vary depending on the existing moisture measure method. There are also many factors of uncertainty which accede to the moisture measurement, which have an influence on measuring results and conclusions and which aren't taken into consideration in measurement handbooks. On the other hand, in the most cases it is almost impossible to estimate the real amount and direction of all those factors of uncertainty.</p> <p>On account of the study, a clear need for further research and development work can be recognized. There is a demand for software, which could calculate on a case-by-case basis the design moisture value and give directives to achieve the desired situation.</p>			
Keywords concrete floor, floor covering, moisture, moisture measurement ,drying,			
ISBN (printed) 978-951-22-9956-0		ISSN (printed) 1797-481X	
ISBN (pdf) 979-951-22-9957-7		ISSN (pdf) 1797-4828	
Language Finnish		Number of pages 136	
Publisher TTK Structural Engineering and Building Technology			
Print distribution TTK Structural Engineering and Building Technology			
<input checked="" type="checkbox"/> The dissertation can be read at http://lib.tkk.fi/Diss/			

*“Unelman tekee mahdolliseksi
yksi ainoa asia, epäonnistumisen pelko”*

-Paulo Coelho, Alkemisti

ALKUSANAT

Minun osalta tämä kaikki alkoi vuonna 1993, jolloin rakennusala painiskeli edellisen laman kourissa. Kun lähes puolen vuoden etsinnän ja odottamisen jälkeen silloisten opintojeni pääaineen professori Vesa Penttala ilmoitti minulle, että nyt olisi diplomityö-aihe tarjolla, en voinut muuta kuin lupautua tekijäksi, vaikken kyseisestä aiheesta - betonin kuivumisesta - muistanut koskaan aiemmin edes kuulleen saati siitä mitään ymmärtänyt.

Diplomityötä seurasi pienimuotoinen jatkotutkimus, jonka aikana yhdessä tutkimushankkeen johtoryhmän puheenjohtajan Pentti Lumpeen kanssa syntyi idea firmasta, joka tekisi betonilattioiden kosteusmittauksia rakennustyömailla. Niinpä yhtälöstä ”*idea+hulluus+rohkeus+lama*” syntyi vuonna 1995 yhtiö nimeltä Humittest Oy, joka myöhemmän laajentumisen myötä muuttui Humi-Group Oy:ksi.

Työskentelin yhtiössä aina kesään 2006 asti, jona aikana hankin suurimman osan siitä betonilattioiden kosteuteen liittyvästä tiedosta ja kokemuksesta, johon tämäkin tutkimus pitkälti pohjautuu. Tiedon ja kokemuksen lisääntymisen myötä kasvoi kuitenkin myös epäily monien asioiden järkiperaisuudesta ja paikkansapitävyydestä. Syntyi halu – suorastaan pakko – ottaa vähän etäisyyttä ja katsoa asioita laajemmin sekä osin myös eri näkökulmista. Nimenomaan halu laajentaa perspektiiviä oli syynä siihen, miksi siirryin tutkimusongelmani kanssa TKK:n Rakentamistalouden laboratorioon professori Jouko Kankaisen alaisuuteen KOSTE -projektin tutkijaksi tarkastelemaan kosteusmittauksen taloudellista vaikutusta rakentamishankkeessa.

Tämä työ syntyi pääosin KOSTE -projektin yhteydessä. Tutkimusta rahoittivat TEKES, Rakennusteollisuus RT ry, Finanssialan Keskusliitto ry, Rudus Oy, Rakennusosakeyhtiö Hartela, NCC Rakennus Oy, Skanska Talonrakennus Oy sekä Vaisala Oyj. Tutkimuksen johtoryhmään kuuluivat puheenjohtajana Riku Kolhonen (Skanska Talonrakennus Oy) sekä jäseninä Olli-Pekka Nordlund (Tekes), Pentti Lumme (Rudus Oy), Kari Varkki (Rakennus Oy Hartela), Olli Niemi (NCC Rakennus Oy), Jukka Pekkanen (Rakennusteollisuus RT ry) sekä Seppo Pekurinen (Finanssialan Keskusliitto ry). Kiitän kaikki rahoittajia sekä erityisesti johtoryhmän jäseniä tutkimustyön aikana saamistani kommenteista ja kannustamisesta. Erityiskiitokset osoitan Jukka Pekkaselle kommenteista ja keskusteluista liittyen muun muassa tutkimuksen rakenteeseen sekä tutkimusmenetelmiin. Kiitokset myös Rakennusteollisuus RT:lle, Suomen Betoniyhdistys ry:lle sekä Tekniikan edistämissäätiölle myöntämistään apurahoista.

Kiitoksia jakaessani minun pitää kuitenkin ensimmäiseksi palata teekkarielämäni alkutaipaleille ja osoittaa kiitokseni professori Vesa Penttalalle, sillä ilman hänen innoittavia betonitekniiikan luentoja en olisi koskaan tälle tielle ajautunut. Kiitokset hänelle myös tähän tutkimukseen liittyvistä kommenteista. Heti seuraavaksi kiitosvuoroon tulee ystä-

väni ja entinen yhtiökumppani Pentti Lumme sekä koko Humi-Group Oy:n väki. Kiitokset heille kaikille mahtavista yhteisistä vuosista rakentamisen kosteudenhallinnan merkeissä. Erityiskiitokset Pentille ja Niemen Samille osallistumisesta myös tämän työn aineiston keruuseen sekä sisällön kommentointiin.

Työni ohjaajalle professori Jouko Kankaiselle haluan osoittaa nöyrimmät kiitokseni ennakkoluulottomasta suhtautumisesta ”lievästi poikkitieteellistä” tutkimusaihettani kohtaan, lukuisista hyvistä neuvoista sekä jatkuvasta kannustamisesta ja uskonluomisesta siihen, että tästä valmista tulee. Lisäksi haluan kiittää Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden henkilökuntaan, erityisesti Seppo Junnilaa Berkeleyn ajoilta ja Ari-Pekka Mannista monien tutkimuksen tekoon liittyvien käytännön asioiden hoitamisesta sekä neuvoista.

Suurimmat kiitokseni haluan osoittaa perheelleni sekä kaikille rakkaille ystävilleni siitä valosta, ilosta ja rakkaudesta, jota he ovat elämääni tuoneet. Laajasta ystäväjoukostani haluan vielä erityisesti kiittää Ullaa, Peksiä, Raisaa, Hannaa ja Eeroa myötäelämisestä ja kannustamisesta – ja välillä tämän kaiken unohtamisesta. Miehelläni Laurille sekä tyttärelläni Millalle ja Mallulle lisäksi erityiskiitokset työrauhasta, erinomaisesta palvelusta ja kärsivällisyydestä sekä anteeksi, että olen ollut ihan liikaa omissa ajatuksissani ja välillä vaatinut teiltä kohtuuttomuuksia. Lupaen, ettei tämä tule toistumaan.

Lopuksi haluan kiittää väitöskirjani esitarkastajia professori Matti Penttiä sekä TkT Risto Mannosta erinomaisista neuvoista, joiden kautta väitöskirjani on viimeistelty.

Espoossa 23.5.2009

Tarja Merikallio

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT

KÄSITTEET JA SYMBOLIT

1	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen taustaa	1
1.2	Tutkimuksen työhypoteesi	5
1.3	Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaus	6
1.4	Tutkimusmenetelmä	8
1.5	Tutkimuksen rakenne	9
2	KOSTEUS BETONILATTIASSA	11
2.1	Betonilattian kosteuslähteet	11
2.2	Kosteuden sitoutuminen betoniin	12
2.3	Betonilattian kosteusvauriot	19
2.4	Betonilattian kuivuminen	21
2.5	Yhteenveto betonilattian kosteudesta	26
3	BETONILATTIAN RIITTÄVÄN KUIVUMISEN MÄÄRITYSPROSESSI	27
4	BETONILATTIAN KOSTEUTEEN LIITTYVÄT MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	30
4.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki	30
4.2	Terveysturvallisuuslaki	31
4.3	Hyvän rakennustavan mukaiset vaatimukset	32
4.4	Betonilattian suurin sallittu kosteus	36
4.4.1	Ennen päällystämistä	36
4.4.2	Valmiissa rakennuksessa	40
4.5	Nykyisten kosteusraja-arvojen taustaa	42
4.6	Betonilattioiden päällystämiseen liittyvä tutkimus	47
4.7	Kosteusraja-arvon vaikutus betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan	54
4.8	Yhteenveto kosteusraja-arvoista	56
5	BETONILATTIAN RIITTÄVÄN KUIVUMISEN TODENTAMINEN	58
5.1	Menetelmät betonilattian riittävän kuivumisen todentamiseksi	58
5.1.1	Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen	60
5.1.2	Painoprosenttikosteutta määrittävät menetelmät	62
5.1.3	Muut kosteusmittausmenetelmät	65
5.2	Kosteusmittausmenetelmän vaikutus betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan	69
5.3	Johtopäätökset riittävän kuivumisen määrittämisestä	75

6	BETONILATTIAN KOSTEUSMITTAUKSEN LUOTETTAVUUS	76
6.1	Kosteusmittauksen luotettavuus	76
6.2	Kosteusmittareiden tarkkuus ja kalibrointi.....	80
6.3	Kosteusmittareiden tasaantuminen	83
6.4	Kosteusmittauskohdan valinta	86
6.5	Kosteusmittausreiän valmistelu	89
6.6	Lämpötilan vaikutus betonin suhteellisen kosteuden mittaamisessa.....	93
6.7	Mittausepävarmuuden huomioon ottaminen käytännössä.....	98
6.8	Kosteusmittaajien koulutus ja osaaminen	99
6.9	Johtopäätökset betonilattian kosteusmittauksen luotettavuudesta.....	106
7	JOHTOPÄÄTÖKSET PROSESSISTA SEKÄ EHDOTUKSET PROSESSIN KEHITTÄMISEKSI	109
7.1	Johtopäätökset riittävän kuivumisen määrittämisprosessista	109
7.2	Toimenpide-ehdotus prosessin kehittämiseksi	111
8	TUTKIMUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET	113
8.1	Tutkimuksen arviointia kokonaisuutena.....	113
8.2	Tutkimuksen luotettavuuden arviointi.....	115
8.3	Yhteys aikaisempiin tutkimuksiin	117
9	YHTEENVETO	118
	KIRJALLISUUSLUETTELO	122
	LIITTEET	138

KÄSITTEET JA SYMBOLIT

Absorptio:

Atomien, molekyylien ja ionien imeytyminen nesteeseen, kaasuun tai kiinteään aineeseen.

Desorptio:

Atomien, molekyylien ja ionien vapautuminen nesteestä, kaasusta tai kiinteästä aineesta.

Diffuusio (vesihöyryn diffuusio):

Kaasuseoksessa vakiokokonaispaineessa tapahtuva vesihöyrymolekyylien liike, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen vesihöyryn osapaine-erot. (Vesihöyryn osapaine-eron aiheuttama vesihöyryn siirtyminen ilmassa tai huokoisessa aineessa).

Emissio:

Ilmiö, jossa materiaalista vapautuu erilaisia kemiallisia yhdisteitä.

Hydratoituminen:

Vesimolekyylien kiinnittymistä ioniin dipoli-ionisidoksin.

Sementin hydratoitumisella tarkoitetaan sementin reagointia veden kanssa, mikä johtaa sementin ja veden seoksen kemiallisiin ja fysikaalisiin muutoksiin.

Hygroskooppisuus:

Huokoisen aineen kyky sitoa itseensä kosteutta ilmasta ja luovuttaa kosteutta ilmaan.

Kapillaarikatko:

Maanvaraisen alapohjarakenteen alla oleva veden kapillaarisen nousun katkaiseva kerros.

Kapillaarisuus:

Rakennusaineen tai maaperän kyky imeä ja siirtää vettä itseensä niiden ollessa kosketuksissa veden kanssa.

Kosteus:

Kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä muodossa.

Kosteuspitoisuus, u:

Haihtumiskykyisen veden massan suhde kuiva-aineen massaan prosentteina [%].

Kosteuspitoisuus, W:

Haihtumiskykyisen veden massan suhde kuiva-aineen massa tilavuuden suhteena [kg/m^3].

Kosteussulku:

Veden kulkeutumista estävä kerros rakenteessa tai sen pinnalla.

Mikrobi:

Tässä yhteydessä mikrobeilla tarkoitetaan home- ja hiivasieniä sekä bakteereja.

Suhteellinen kosteus, RH:

Ilmassa olevan vesihöyryn ja ilman lämpötilaa vastaavan kylläisen vesihöyryn osapaineiden suhde prosenttilukuna [%].

Vesihöyrynläpäisevyys, δ_v :

Ilmoittaa vesimäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pinta-alayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla olevien ilmatilojen vesihöyrypitoisuuksien ero tai vesihöyryn osapaine-ero on yksikön suuruinen [kg/msPa], [m²/s].

Vesihöyrynvastus, Z_v :

Ilmoittaa tasapaksun ainekerroksen tai tällaisista muodostuvan tasapaksun kerroksellisen rakenteen pinnoilla eri puolilla vallitsevien vesihöyrypitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden eron ja ainekerroksen tai rakenteen läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti diffusoituvan vesihöyryvirran suhteen [m²sPa/kg], [s/m].

Vesi-sementtisuhte, v/s:

Betonimassan sisältämän vesimäärän ja sementin painon suhde.

1 JOHDANTO

1.1 TUTKIMUKSEN TAUSTAA

Kosteuden aiheuttamat ongelmat betonilattioissa ovat varsin yleisiä. Ongelmakenttä on laaja. Rakennustyömaalla betonin hidas kuivuminen voi aiheuttaa aikatauluviipeitä. Valmiissa rakennuksessa liiallinen kosteus voi puolestaan aiheuttaa lattianpäällysteissä ja -pinnoitteissa erilaisia vaurioita. Näkyvien vaurioiden lisäksi kosteusvaurioiden vaikutukset sisäilman laatuun ja sitä kautta ihmisten terveyteen ovat viime vuosina nousseet merkittävästi esille. Ongelmakentän voidaan siten ajatella ulottuvan myös huonon sisäilman laadun aiheuttaman terveyshaitan korvauskustannusten käsittelyyn oikeudessa.

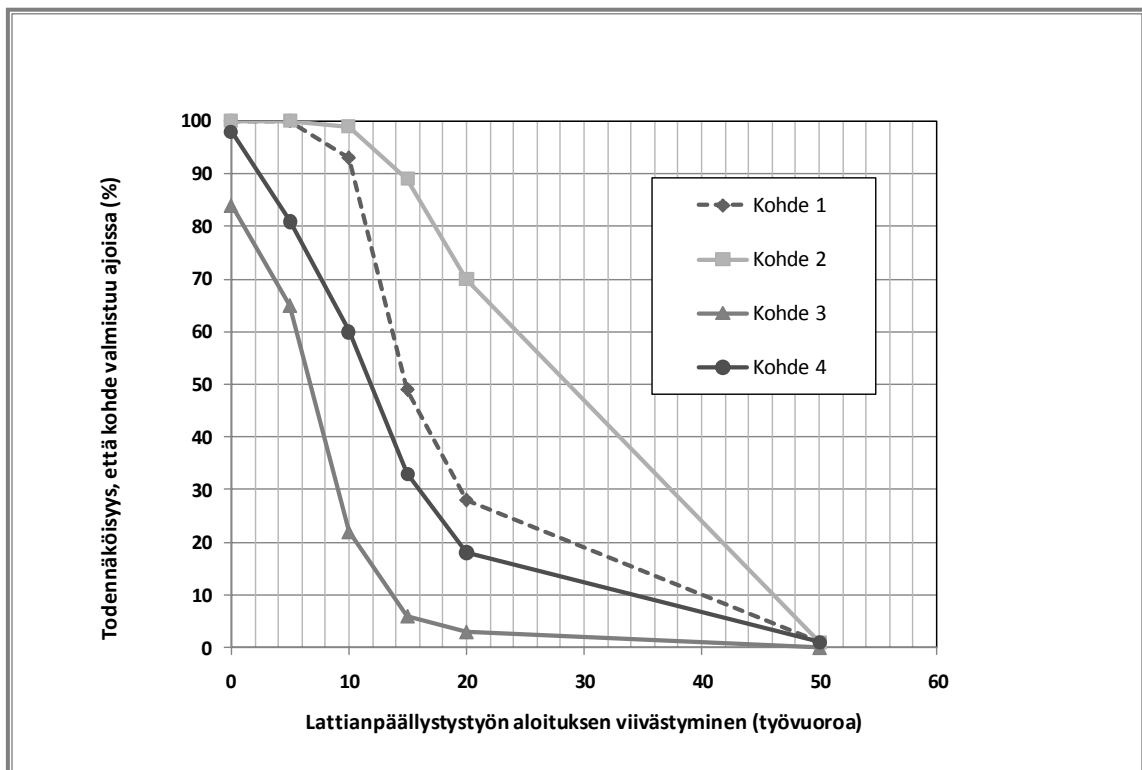
Parin viimeisen vuosikymmenen aikana betonilattioiden kosteusongelmat ovat lisääntyneet huomattavasti. Rakennuslalla yleisenä käsityksenä on, että ongelmien lisääntyminen johtuu kiristyneiden rakentamisaikataulujen aiheuttamasta lyhemmästä betonin kuivumisajasta, mutta myös päällystemateriaalinen, kuten esimerkiksi mattoliimojen, kemiallisten ominaisuuksien muuttumisesta (ACI 2006, s. 3).

Häiriöherkkyytensä takia päällystetty tai pinnoitettu betonilattia sisältää merkittäviä taloudellisia riskejä. Betonilattioissa ilmenneiden vaurioiden korjauskustannukset ovat yksi kalleimmista takuun piiriin kuuluvista kustannuksista (ACI 2006). Yleensä vauriot ilmestyvät vasta, kun rakennus on jo käytössä, jolloin vaurion korjaustyön suorien kustannusten lisäksi on otettava huomioon muun muassa käyttäjien muutosta ja toiminnan keskeytymisestä aiheutuneet kustannukset. Lattianpäällystevaurion korjauskustannukset voivat olla jopa yli viisinkertaiset verrattuna alkuperäisiin asennuskustannuksiin (Moosman 2005).

Kosteusvaurioiden välttämiseksi betonilattioiden tulee antaa kuivua tai niitä on kuivatettava riittävästi ennen päällystys- tai pinnoitustyöhön ryhtymistä (Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2 1998). Vaadittavaan kuivumisaikaan vaikuttavat erityisesti rakenneratkaisu, betonin ominaisuudet, rakennetta ympäröivän ilman ominaisuudet sekä päällyste- tai pinnoitemateriaalin kosteudensietokyvyn perusteella määritetty tavoitekosteus (Hedenblad 1995).

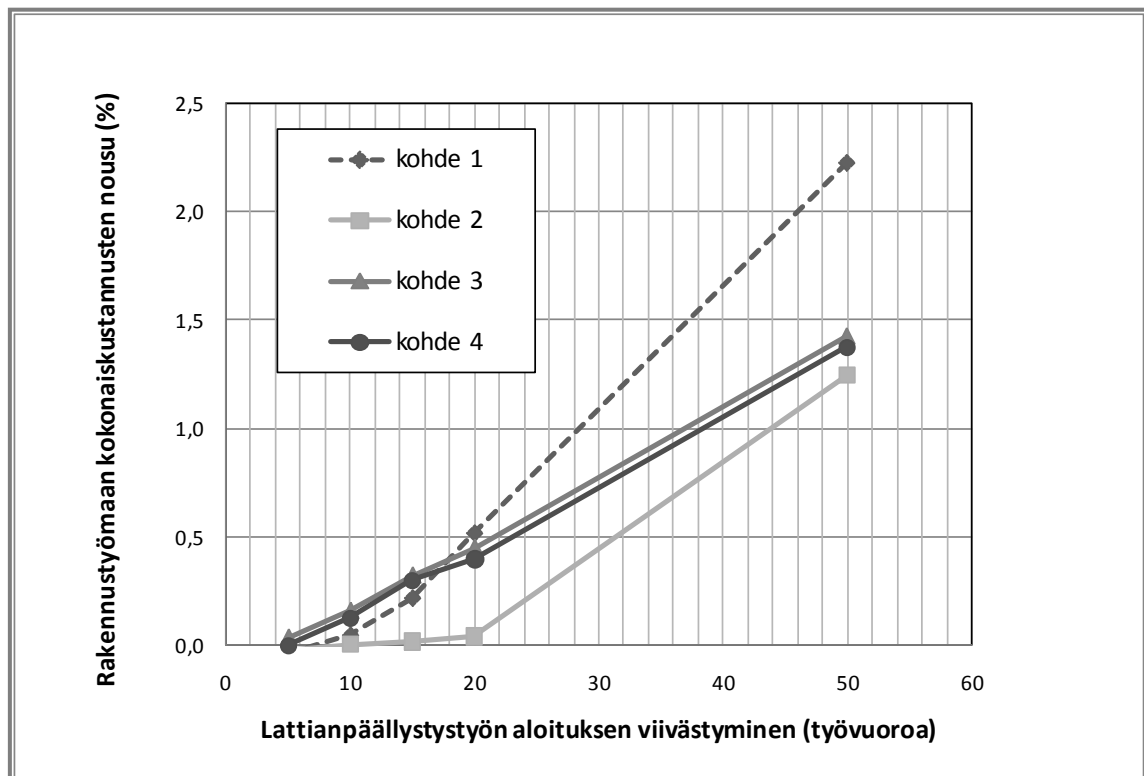
Kuivumisajan optimoinnilla on merkittävä taloudellinen vaikutus rakennushankkeessa. Rakennusaikana todettu betonilattian liiallinen kosteus eli riittämätön kuivuminen voi johtaa betonilattian suunnitellun päällystämistyön aloituksen viivästymiseen. Uudisrakennuskohteille tehdyt aikataulusimuloinnit (Merikallio et al. 2009) ovat osoittaneet, että betonilattian päällystämisaikankohdan viivästymisen vaikutus rakennustyömaan aikatauluun ja kokonaiskustannuksiin on huomattava. Lattianpäällystystyön aloituksen viivästyminen jo viidellä työvuorolla voi vaikuttaa rakennuskohteen kokonaisaikatauluun pienentäen todennäköisyyttä, että kohde valmistuu suunnitellun aikataulun mukaisesti. Viivästymisen ollessa 20 työvuoroa eli 4 kalenteriviikkoa kohteiden ajoissa valmistumisen todennäköisyys pienenee kaikissa kohteissa huomattavasti. Viivästymisen ollessa 50 vuorokautta kohteiden ajoissa valmistumisen todennäköisyys on lähes olematon (kuva 1).

Työmaan kokonaisaikataulun viivästyminen lisää huomattavasti työmaan käyttö- ja yhteiskuluja. Lisäksi lattianpäällystystyön aloitusajankohdan viivästyminen nostaa työmaan kustannuksia johtuen eri urakoitsijoiden (mm. pääurakoitsijan, siivousliikkeen, putkiurakoitsijan, parketti- ja mattoasentajien, alakattoasentajien sekä listoittajien) töiden keskeytymisestä. Lattianpäällystystyön aloituksen viivästymisen ollessa 20 työvuoraa työmaan kokonaiskustannukset nousivat todennäköisimmässä tapauksessa noin 0,5 %. Viivästymisen ollessa 50 työvuoraa työmaan kokonaiskustannukset nousivat jopa yli 2 % (kuva 2). Tällöin voidaan puhua jo satojen tuhansien eurojen lisäkustannuksista, joiden aiheuttajana on betonilattian oletettua hitaampi kuivuminen (Merikallio et al. 2009).



Kuva 1. Betonilattian päällystystyön aloituksen viivästymisen (työvuoraa) vaikutus todennäköisyyteen (%), että uudisrakennuskohde valmistuu suunnitellun aikataulun mukaisena ajankohtana. Selvitys on tehty simuloimalla neljän erityyppisen uudisrakennusprojektin yleisaikatauluja Graphisoft Control 2007 aikatauluohjelmalla käyttäen Monte Carlo-simulointimenetelmää. Kohteen 1 betonilattiat ovat paikalla valettuja. Kohteiden 2-4 betonilattiat ovat elementtirakenteisia (Merikallio et al. 2009).

Kosteusmittaus on merkittävässä asemassa betonilattian riittävää kuivumista arvioitaessa. Uudisrakennustyömaalla kosteusmittaustulos määrittää betonilattian päällystämistyön aloitusajankohdan. Virheellisesti tehty mittausta tai tulkittu mittaustulos voivat johtaa lattianpäällystystyön aloituksen viivästymiseen ja sitä kautta lisäkustannuksiin. Toisaalta se voi johtaa liian aikaisen päällystämisen seurauksena syntyvään kosteusvaurioon ja siitä aiheutuviin sekä toiminnallisiin, taloudellisiin että terveydellisiin haittoihin. Äärimmilleen menevissä kosteusvauriotapauksissa kustannuksia lisäävät vielä oikeudenkäyntikulut, kun kiistellään korvausten määrästä ja siitä, kuka on korvausvelvollinen. Näin ollen betonilattioiden kosteusmittauksen taloudellinen vaikutus rakennushankkeessa voi olla huomattava.



Kuva 2. Rakennustyömaan kokonaiskustannusten (rakennusteknisten töiden työ-
kustannusten sekä työmaan käyttö- ja yhteiskustannusten) prosentuaalinen
nousu työmaan lattianpäällystystyön aloitusajankohdan viivästyessä. Ku-
vassa on esitetty kunkin yksittäisen kohteen kustannusten muutos ottaen
huomioon kohteen valmistumisen todennäköisin viivästyminen. Selvitys on
tehty simuloimalla neljän erityyppisen uudisrakennusprojektin yleisaika-
tauluja Graphisoft Control 2007 aikatauluohjelmalla käyttäen Monte Car-
lo-simulointimenetelmää. Kohteen 1 betonilattiat ovat paikalla valettuja.
Kohteiden 2-4 betonilattiat ovat elementtirakenteisia. (Merikallio et al.
2009).

Lisääntynyt tietoisuus betonilattioiden kosteusvauriosta sekä erityisesti niiden terveys- ja kustannusvaikutuksesta on saanut rakennus- ja kiinteistöalan panostamaan entistä enemmän kosteusongelmien poistamiseen. Parin viimeisen vuosikymmenen aikana muun muassa Pohjoismaisissa yliopistoissa ja muissa tutkimuslaitoksissa on tehty lukuisia betonilattioiden kosteuteen liittyviä tutkimuksia (mm. Adamson et al. 1970, 1973; Nilsson 1977, 1979, 1980, 2004, 2005; Ericsson et al. 1984; Johansson 1991; Norling-Mjörnell 1997; Persson 1993, 1994, 2003; Silvast 1994, Hedenblad 1991, 1993, 1995; Wengholt-Johnsson 1995, 1998; Al-Neshawy 1996, Lindberg et al. 2002; Wirtanen et al. 1998, 2001, 2002; Abrahamsson et al. 2003; Leivo et al. 2002, 2007; Sjöberg et al. 1999, 2001, 2002, 2007). Tutkimustulosten myötä erilaiset betonin kosteudenhallintaan liittyvät ohjeet ja suositukset ovat lisääntyneet.

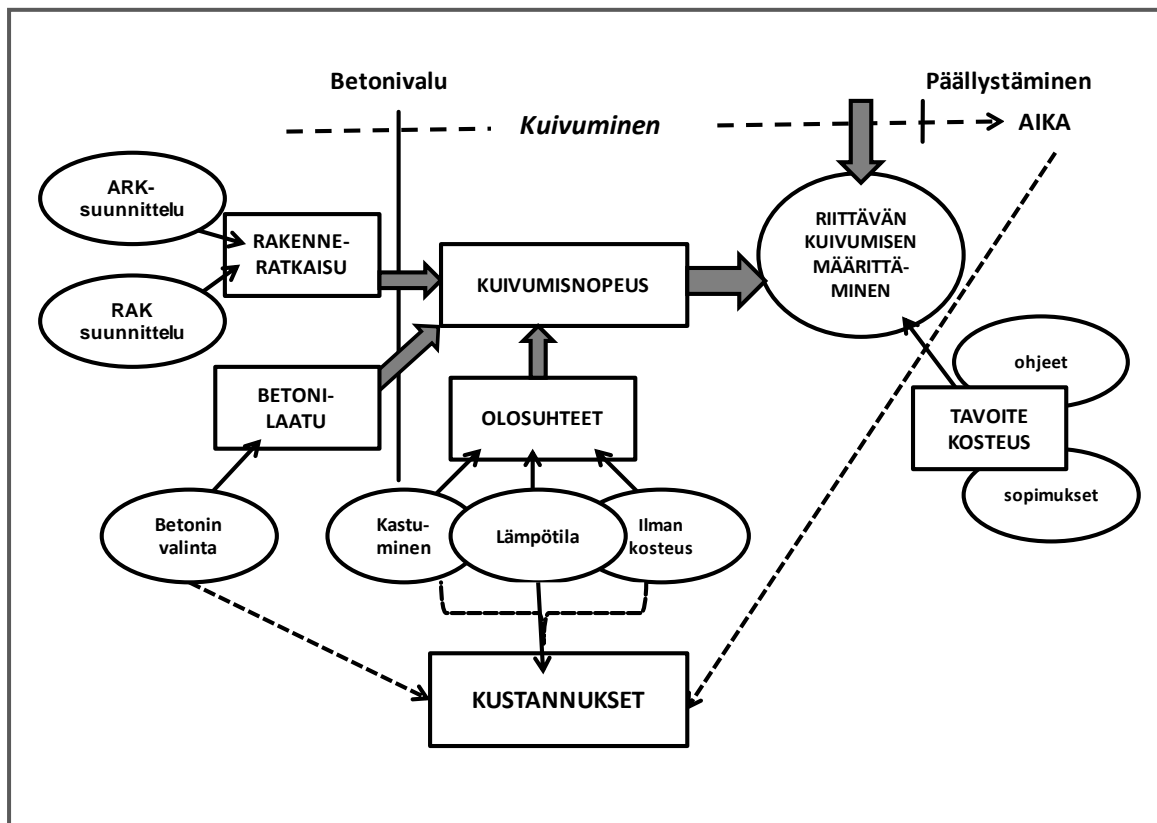
Huolimatta aihealueeseen liittyvien tutkimusten ja tutkimustulosten jalkauttamisen suu- resta määrästä käytännössä on edelleen paljon epäselvyyksiä. Betonilattioiden rakennus- työnaikainen kosteudenhallinta koetaan varsin haastavaksi tehtäväksi. Betonilattian kos- teudenhallintaprosessin (kuva 3) voidaan ajatella olevan yksi osaprosessi koko rakenta- misprosessissa, missä kaksi erilaista, mutta toisiinsa liittyvää laatuaspektia – lopputuo- teen laatu ja toiminnan laatu - tulee ottaa huomioon.

Kosteudenhallinnan kannalta laadukas lopputuote edellyttää, että betonilattiarakennetta kuivatetaan riittävästi ennen lattian päällystämistä, jotta vältetään myöhemmin synty- vältä kosteusvauriolta. Toisaalta toiminnan laatu puolestaan edellyttää, että vaadittava kuivumisaika pysyy suunnitellun rakentamisaikataulun puitteissa. Koko prosessin laatu- johtaminen edellyttää, että kaikki prosessiin vaikuttavat tekijät ovat relevantteja ja että niiden väliset yhteydet ymmärretään. Jotta betonilattiarakenteiden kosteudenhallintapro- sessia voidaan parantaa, on ymmärrettävä, mitkä tekijät liittyvät kyseiseen prosessiin ja miten nämä tekijät vaikuttavat toinen toisiinsa ja siten koko prosessin kulkuun.

Betonilattian riittävän kuivumisen määrittäminen on yksi osa betonilattian kosteuden- hallintaprosessia. Tässä tutkimuksessa paneudutaan nimenomaan tuohon riittävän kui- vumisen määrittämisprosessiin.

Tutkimus nähtiin tarpeelliseksi, koska

- betonilattioiden kosteusongelmat ovat varsin yleisiä
- ongelmien välttämiseksi betonilattioiden rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan ja kosteusmittaukseen liittyvät vaatimukset ovat viime vuosina lisääntyneet
- eri osapuolten riittävän kuivumisen määrittämiseksi tehtyjen kosteusmittausten tuloksissa ja tulosten tulkinnoissa on käytännön kohteissa havaittu ristiriitai- suuksia
- kosteusmittaustulosten perusteella tehdään taloudellisesti merkittäviä päätöksiä
- betonilattian riittävän kuivumisen määrittämisprosessia ei ole aiemmin tässä laa- juudessa tutkittu.



Kuva 3. Betonilattian kosteudenhallintaprosessin tavoitteena on varmistaa, että betonilattiarakenne kuivuu aikataulun mukaisesti tavoitetilaan ilman yllättäviä lisäkustannuksia. Riittävän kuivumisen määrittäminen on oleellinen osa kosteudenhallintaprosessia.

1.2 TUTKIMUKSEN TYÖHYPOTEESI

Tämän tutkimuksen liikkeellepanevana tekijänä on tutkijan yli 10 vuoden kokemus betonirakenteiden kuivumisesta ja kosteusmittauksesta erilaisten tutkimusten ja erityisesti käytännön kohteista tehtyjen selvitysten kautta. Tutkija on toiminut vuosina 1995–2006 rakentamisen kosteudenhallintaan erikoistuneessa konsulttiyhtiössä (Humittest Oy/ Humi-Group Oy) asiantuntijana, minä aikana hän on tehnyt lukuisia betonilattioiden kosteusmittauksia käytännön kohteissa, osallistunut tutkijana ja tutkimuspäällikkönä aiheeseen liittyviin tutkimus- ja tuotekehitystöihin sekä toiminut luennoitsijana erilaisissa betonin kosteudenhallintaan ja kosteusmittaukseen liittyvissä koulutustilaisuuksissa. Tämän tutkimuksen taustalla olevia tutkimus- ja tuotekehityshankkeita, joissa tutkija on ollut mukana, ovat muun muassa:

- Betonilattioiden pinnoitettavuuden nopeuttaminen ja pinnoitteiden kiinnipysyvyys - tavoitetutkimushanke (1996–1998)
- Rakentamisen kosteuden hallinta - tuotekehityshanke (1997–1998)
- Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen - tuotekehityshanke (1995–1997)

- Rakennusten ja rakenteiden hallittu kuivatus ja siihen liittyvän kosteuskontrollin kehittäminen - tuotekehityshanke (1998–2000)
- Olosuhderakentaminen - tuotekehityshanke (2001–2003)
- Betonilattioiden päällystämisen ohjeistus (BePO) - tuotekehityshanke (2004–2006).
- Betonilattioiden kosteusmittauksen taloudellinen vaikutus (KOSTE)-tutkimushanke (2006–2008).

Tutkijan aikaisemman kokemuksen luoman esiyymmärryksen pohjalta on muodostettu tutkimuksen työhypoteesi, joista edelleen on johdettu tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet.

Tutkimusta ohjaavana työhypoteesina on, että

betonilattian riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyy hallitsematonta hajontaa, jonka vaikutus rakenteen vaadittavaan kuivumisaikaan on merkittävä.

1.3 TUTKIMUSONGELMA, TAVOITTEET JA RAJAUS

Tutkimuksen lähtökohtana on tutkimusongelma, joka sisältää kysymyksen tai kysymyksiä, joihin tutkimuksella haetaan vastauksia. Tutkimusongelma määrittelee, millaista aineistoa tarvitaan ja miten aineistoa tulee analysoida (Uusitalo 1995, s.50). Tämän tutkimuksen tutkimusongelma voidaan esittää seuraavan kysymyksen muodossa: Johtavatko nykyiset betonilattioiden rakentamisaikaisen riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyvät käytännöt rakenteen optimaaliseen kuivattamiseen ja sitä kautta laadukkaaseen lopputulokseen?

Tämän tutkimuksen päätavoitteena on selvittää, mitkä eri osatekijät vaikuttavat prosessissa (kuva 4), jossa lähtökohtana on varmistaa, että *betonilattia on riittävän kuiva*, ja millaisiin betonilattian vaadittaviin kuivumisaikoihin nämä eri osatekijät voivat johtaa. Tutkimuksen tieteellisenä kontribuutiona on uusi, laajempi ymmärrys tekijöistä, jotka tulee ottaa huomioon pyrittäessä parantamaan betonilattioiden kosteudenhallintatyötä ja erityisesti siihen liittyvää riittävän kuivumisen määrittämisprosessia.

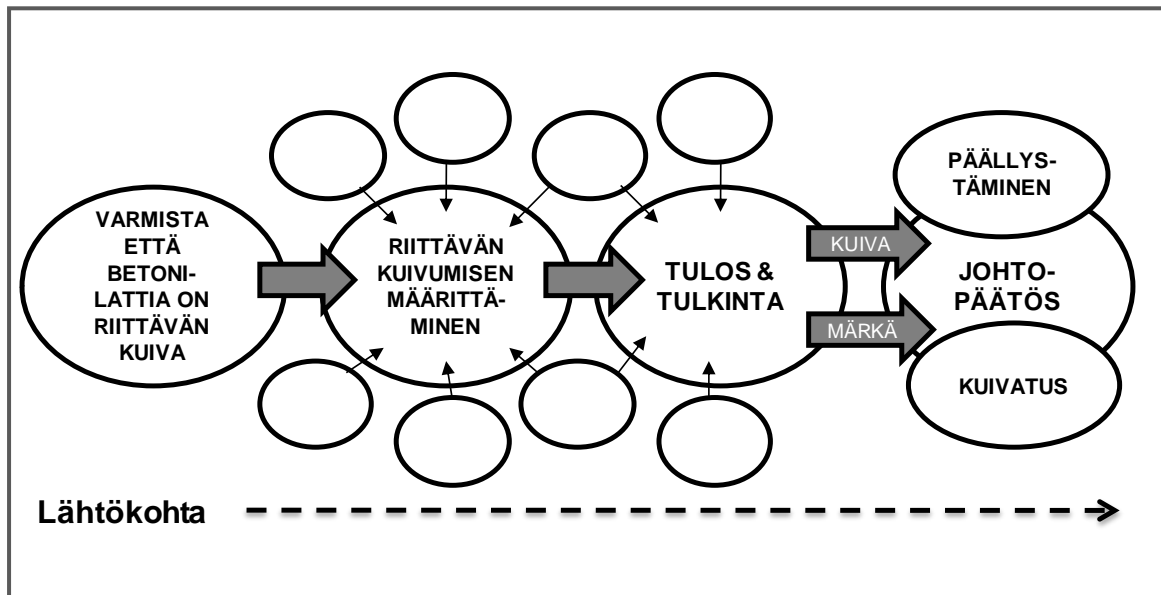
Tutkimuksen päätavoite avautuu seuraavien tutkimuskysymysten kautta:

1. Millaisia betonilattian kosteutta koskevia määräyksiä ja ohjeita Suomessa on, mihin nämä ohjeet perustuvat ja miten ne vaikuttavat kosteusmittaustulosten tulkintoihin ja johtopäätöksiin?
2. Millaisia menetelmiä betonilattian kosteustilan määrittämiseksi käytetään ja miten eri menetelmät vaikuttavat mittaustulokseen, tuloksen tulkintaan ja johtopäätöksiin?
3. Millaisia epävarmuustekijöitä kosteusmittauksen suorittamiseen liittyy ja mikä niiden vaikutus mittaustulokseen on?
4. Mitä on kosteusmittauksia tekevien henkilöiden osaaminen?

5. Miten kosteusmittaukseen liittyvät epävarmuustekijät on otettu huomioon ja raportoitu käytännön kohteissa tehdyissä mittauksissa.

Tutkimuksen laajuus rajataan tarkastelemaan prosessia, jossa tavoitteena on määrittää betonilattian riittävä kuivuminen ennen lattiapäällystystyön aloitusta kosteusmittauksin. Koska kosteusmittaukseen liittyvät ohjeet ja käytännöt ovat hyvin kansallisia, tarkastelu rajataan käsittelemään Suomessa rakentamisessa yleisesti käytettäviä kosteusmittausmenetelmiä sekä mittauksen suorittamiseen ja mittaustulosten tulkintaan liittyviä ohjeita. Vertailuaineistona käytetään muissa maissa julkaistuja ohjeita ja määräyksiä.

Tutkimuksessa osoitetaan, miten tarkasteltavaan riittävän kuivumisen määrittämisprosessiin kuuluvat osatekijät vaikuttavat lopputulokseen eikä tutkimuksessa siten paneuduta syvällisesti kuhunkin yksittäiseen tekijään.



Kuva 4. Betonilattian riittävän kuivumisen määrittämisprosessissa lähtökohtana on varmistaa, että betonilattia on riittävän kuiva ennen lattiapäällystystyöhön ryhtymistä. Tässä tutkimuksessa selvitetään, mitkä eri osatekijät vaikuttavat kyseiseen prosessiin ja millaisiin johtopäätöksiin nämä eri tekijät voivat johtaa.

1.4 TUTKIMUSMENETELMÄ

Tutkimus on luonteeltaan deskriptiivinen eli kuvaileva. Deskriptiiviset tutkimukset pyrkivät lähinnä kuvailemaan jotakin ilmiötä luomalla kuvailevia käsitteitä, kuvaamalla prosesseja, luokittelemalla ilmiöitä, esittämällä korrelaatioita, selittämällä kausaliteetteja tai muulla tavalla lisäämään sen ymmärrystä (Olkkonen 1993, s. 24). Yleistä on esimerkiksi jonkin kysymys- tai aihealueen käytännön ongelmien tai ratkaisujen joukon kuvaamisen, tyypittely tai muu jäsentely sekä erilaisiin ongelmiin tai ratkaisuihin johtaen syiden selvittäminen (Olkkonen 1993). Tässä tutkimuksessa pyritään kuvaamaan betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämisprosessia sekä siihen liittyvien tekijöiden vaikutusta betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan.

Kuvailevan tutkimuksen toteutusmenetelmät voivat olla sekä kvalitatiivisia (laadullisia) että kvantitatiivisia (määrällisiä) toistensa täydentämiseksi ja tutkimuskohteesta riippuen. Tässä tutkimuksen metodinen lähestymistapa on pääosin kvalitatiivinen eli laadullinen. Joissakin kohdin käytetään myös kvantitatiivisia menettelyjä. Laadullisessa tutkimuksessa tarkoituksena on ymmärtää tutkittavaa ilmiötä. Laadullista tutkimusta suunniteltaessa on perehdyttävä aikaisempiin tutkimuksiin ja teoriataustaan. Tutkimusprosessi on joustava ja muuttuva. Tutkimusaineisto on empiiristä. Aineistona voidaan käyttää muun muassa kirjallisuutta, asiakirjoja, lehtiä sekä haastatteluja ja kyselyjä (Järvenpää et al. 2000, s. 20). Tässä tutkimuksessa ensisijaisena aineistolähteenä on betonilattioiden kosteuteen ja kosteusmittaukseen liittyvät tutkimusraportit, ohje- ja oppikirjat, lehtiartikkelit sekä sähköiset julkaisut. Lisäksi aineistona käytetään eri tahojen tekemiä kosteusmittausraportteja, kosteusmittalaitteiden kalibrointitodistuksia, kosteusmittauskoulutuksen yhteydessä tehtyjä kyselyjä ja tenttituloksia.

Kirjallisuustutkimuksella selvitetään, millaisia vaatimuksia betonilattioiden kuivattamiselle asetetaan, miten vaatimukset todetaan ja osoittavatko käytetyt menetelmät riittävän kuivumisen. Tutkijan aikaisemman kokemuksen ja tutkimuksessa tehtävien selvitysten pohjalta luodaan teoreettinen viitekehys betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämismenetelmän kehittämiseksi.

Tutkimus noudattaa induktiivista logiikkaa. Tutkimusaineistosta nousevien seikkojen perusteella tehdään yleistyksiä ja päätelmiä. Aineistoa pyritään tarkastelemaan monitahoisesti ja yksityiskohtaisesti nostoen esiin merkityksellisiä teemoja.

1.5 TUTKIMUKSEN RAKENNE

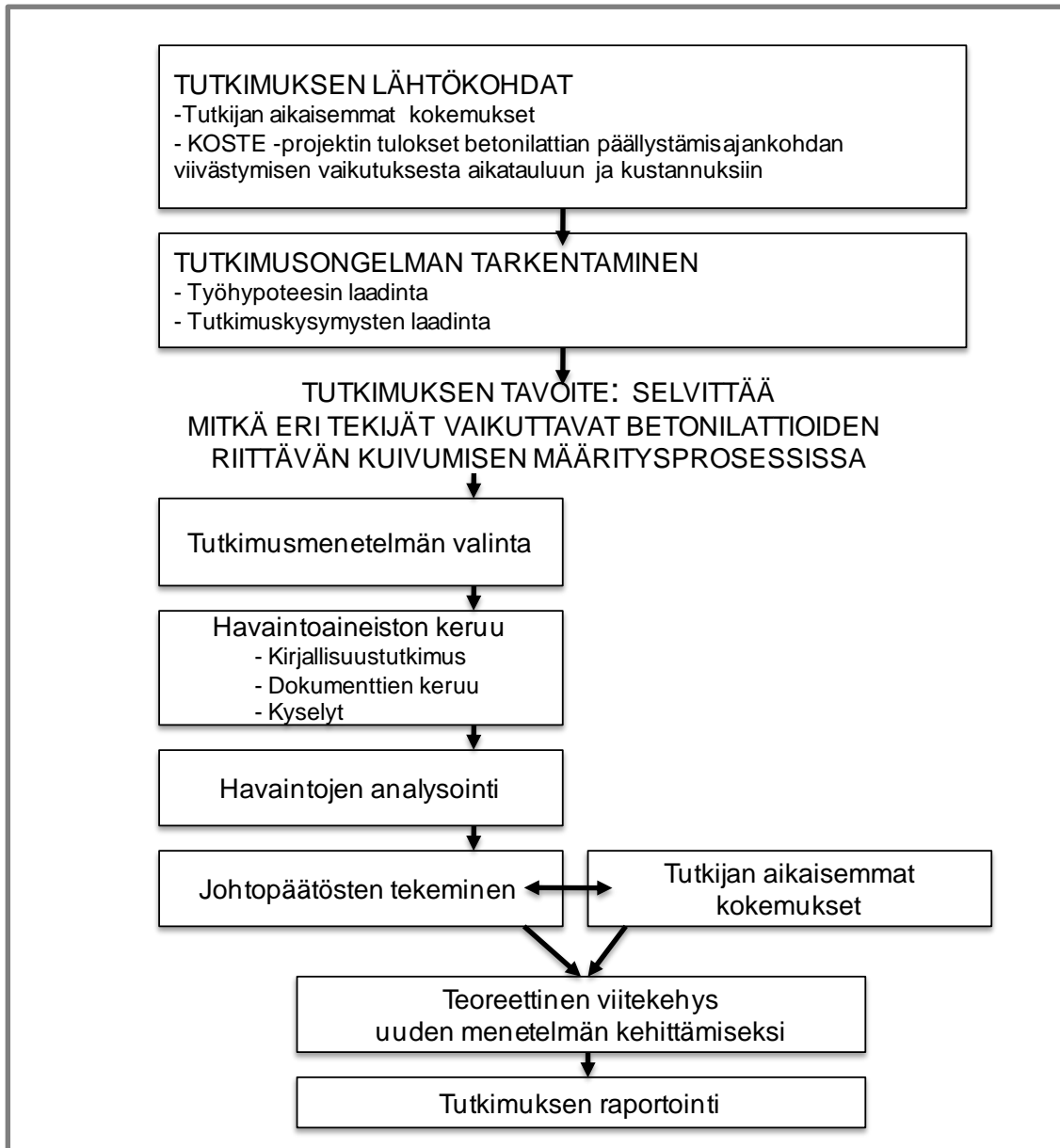
Tutkimuksen ongelmanasettelu ja tavoitteet perustuvat tutkijan aikaisempaan käytännön työstä ja tutkimustyöstä saamaan kokemukseen sekä KOSTE (Kosteusmittauksen taloudellinen vaikutus) -projektin tuloksiin koskien betonilattian päällystämisaikankohdan viivästymisen vaikutusta rakentamisaikatauluun ja kustannuksiin. Tutkimuksen alkuvaiheessa tarkennetaan tutkimusongelmaa, laaditaan tutkimuskysymykset sekä luodaan tutkimusta ohjaava työhypoteesi. Tutkimusmenetelmäksi valitaan kuvaileva tutkimus, jossa pyritään kuvaamaan nykyinen betonilattian riittävän kuivumisen määrittäminen prosessi. Prosessia havainnoidaan useasta eri näkökulmasta erilaisia havaintokeinoja käyttäen. Havainnot analysoidaan ja tulosten perusteella tehdään johtopäätökset tutkimusta ohjaavan työhypoteesin paikkansapitävyydestä. Näiden johtopäätösten ja tutkijan aikaisemman kokemuksen pohjalta luodaan teoreettinen viitekehys uuden menetelmän kehittämiseksi (kuva 5).

Tutkimusraportti jakautuu yhdeksään lukuun. Ensimmäisessä luvussa käydään johdantona läpi tutkimuksen taustatekijöitä ja tutkimuksen tarvetta. Edelleen luvussa määritellään ja rajataan tutkimuksen tavoitteet. Lisäksi luvussa kuvataan käytettävä tutkimusmenetelmä.

Luvussa kaksi käydään läpi tutkimusaiheen taustalla olevia teorioita ja aiempia tutkimuksia pohjautuen kirjallisuustutkimukseen. Luvun tavoitteena on lisätä ymmärrystä siitä, mitä betonin kosteus on, miten betonin kosteus käyttäytyy ja miksi betonilattioiden ylipäättään tulee kuivua. Teorian, havaintojen ja lisääntyneen ymmärryksen pohjalta luodaan viitekehys varsinaiselle empiiriselle tutkimusosuudelle.

Luvussa kolme kuvataan tutkimuksen kohteena oleva betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittäminen prosessi sekä ne prosessiin vaikuttavat tekijät, joiden kautta tapausta havainnoidaan. Luvuissa 4 - 6 käydään tarkemmin läpi näitä tekijöitä sekä niiden vaikutusta kyseisessä prosessissa. Luvussa neljä esitetään, millaisia kosteudenhallintaan liittyviä ohjeita ja määräyksiä päällystettävälle betonilattioille on annettu sekä miten nämä vaikuttavat rakenteelta vaadittavaan kuivumisaikaan. Luvussa viisi käydään läpi yleisimmät menetelmät, joilla betonilattian riittävä kuivuminen todennetaan, sekä osoitetaan, miten erilaiset kosteusmittausmenetelmät vaikuttavat betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan. Luvussa kuusi paneudutaan betonilattian suhteellisen kosteuden mittaamiseen liittyviin epävarmuustekijöihin sekä niiden huomioon ottamiseen ja vaikutukseen käytännön mittauksissa.

Luvussa seitsemän esitetään johtopäätökset betonilattian riittävän kuivumisen määrittämisprosessista sekä toimenpidesuositukset prosessin kehittämiseksi. Luvussa kahdeksan esitetään johtopäätökset tutkimusprosessista, tulosten hyödyllisyyttä ja tavoitteiden saavuttamista. Luvussa yhdeksän esitetään yhteenveto tutkimuskokonaisuudesta ja sen keskeisistä tuloksista.



Kuva 5. Tutkimuksen rakenne.

2 KOSTEUS BETONILATTIASSA

2.1 BETONILATTIAN KOSTEUSLÄHTEET

Betonilattia sisältää aina jonkin verran kosteutta. Kosteus on pääosin peräisin betonin valmistamiseen käytetystä vedestä, mutta usein myös rakenteen kastumisesta rakennusaikana vesi-, lumi- ja räntäsateiden sekä erilaisten vesivahinkojen seurauksena. Rakenteen pintaan levitettävät tasoitteet ja lattianpäällysteen kiinnittämiseen käytettävät liimat tuovat myös oman kosteuslisänsä. Maanvaraisissa lattiarakenteissa merkittävänä kosteuslähteenä on maaperän kosteus.

Huokoisena materiaalina betoni voi imeä itseensä kapillaarisesti nestemäisessä muodossa olevaa kosteutta eli vettä ollessaan suoraan kosketuksissa vapaaseen veteen tai toiseen materiaaliin, jossa on kapillaarista kosteutta. Esimerkiksi maanvaraisen betonilattian alapuolisesta kapillaarisesti kastuneesta täyttökerroksesta voi kapillaarivoimien vaikutuksesta siirtyä kosteutta betonilattiaan, jos betoni on kosketuksessa kyseisen täyttökerroksen maa-ainekseen. Betonilattian kyky imeä kapillaarista kosteutta ja siirtää sitä eteenpäin on riippuvainen muun muassa betonin kapillaarihuokosten määrästä. Mitä korkeampi betonin vesi-sideainesuhde (v/s) on, sitä suurempi on myös kapillaarinen vedenimukyky sekä kosteusvirta betonilaatan läpi. (Hall et al. 2002, s. 73; Leivo et al. 2002, s. 49).

Betoni voi myös sitoa (*absorboida*) ja luovuttaa (*desorboida*) vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta ja siirtää sitä diffuusiolla (Adamson et al. 1973). Vaikka maanvaraisen betonilattiarakenteen alapuolisessa täyttökerroksessa ei olisi kapillaarista kosteutta, siellä voi kuitenkin olla hyvin korkea suhteellinen kosteus. Ilman suhteellisella kosteudella (RH, *relative humidity*) tarkoitetaan ilmassa olevan vesihöyrynsapaineen ja ilman lämpötilaa vastaavan vesihöyrynkylästyspaineen suhdetta prosenttilukuna. Rakenteita suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että maanvaraisen betonilattian alapuolisen täyttömaan suhteellinen kosteus on yleensä noin 100 %. Lämmitetyssä rakennuksessa täyttökerroksen lämpötila on noin +12...+15 °C riippuen käytetystä eristepaksuudesta ja yläpuolisen tilan lämpötilasta (Leivo et al. 2003, s. 11). Lämmöneristämättömissä alapohjissa täyttökerroksen lämpötila voi nousta lähelle sisäilman lämpötilaa. Maanvaraisen laatan yli muodostuu lämpötila- ja kosteusero, joka pyrkii tasaantumaan rakenteen läpi. Lämpimän ja kostean täyttökerroksen huokosilman vesihöyrypitoisuus on yleensä suurempi kuin normaalin huoneilman, mistä syystä täyttökerroksesta kulkeutuu vesihöyryn diffuusiolla kosteutta huonetilaan päin. Laatan alla mahdollisesti oleva kapillaarikatko ei estä vesihöyrymuodossa olevan kosteuden liikettä. Matkalla tämä kosteus voi tiivistyä rakenteeseen tai jonkin materiaalikerroksen kosteus voi nousta kriittisen korkeaksi. Useimmissa tapauksissa kriittisin kohta on tiiviin lattianpäällysteen alapinta. Mikäli laatan yläpinnassa oleva lattianpäällystemateriaali läpäisee vesihöyryä hitaammin kuin mitä maaperästä siirtyy, suhteellinen kosteus lattianpäällysteen alla voi nousta vaurioitumisen kannalta kriittisen korkeaksi (Leivo et al. 2003; Leivo et al. 2007). Tällaiset vesihöyryn diffuusion aiheuttamat ongelmat ovat varsin yleisiä maanvaraisissa lattiarakenteissa, joissa lämmöneristys on puutteellinen ja lattianpäällystemateriaali on vesihöyrynvastusominaisuudeltaan tiivis. Tiiviiksi päällyste- ja pinnoitemateriaaleiksi voidaan luokitella sellaiset, joiden vesihöyrynvastus on keskimäärin $150\text{--}180 \cdot 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$

ja läpäiseviksi sellaiset, joiden vesihöyrynvastus on keksimäärin $50 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \text{ s Pa/kg}$ (Leivo et al. 2003, s. 24). Puuttuva tai puutteellinen lämmöneristys on eräs keskeinen syy maanvaraisten betonilattioiden kosteusvaurioihin (Leivo et al. 2007). Tiiviillä lattianpäällysteellä tai pinnoitteella rajalämpötila, jossa suhteellisen kosteus päällysteen alapinnassa ylittää kriittisen kosteuden on noin $+19 \text{ }^\circ\text{C}$. Lämmöneristämätön alapohja toimii vain käytettäessä läpäiseviä pintamateriaaleja. (Leivo et al. 2003, s. 25).

Maanvaraisissa betonilattioissa kosteusvauriot ovat varsin yleisiä. Leivo et al. (2007) mukaan noin neljännes rakennusten kosteusvaurioista on maaperän kosteuden aiheuttamia. Useissa vauriotapauksissa alapohjarakenteen täyttö- tai salaojituserkerros eivät muodosta toimivaa kapillaarikatkoa, jolloin maan aiheuttama kosteusrasitus muodostuu sekä vesihöyryn diffuusiosta että kapillaarisesti vetenä nousevasta kosteudesta. Lisäksi monissa vauriotapauksissa pohjamaan kosteustuottoa lisää puutteellinen tai heikosti toimiva salaojitus rakennuksen ympärillä.

Betonilattia voi kastua myös paineellisen veden vaikutuksesta, mitä tapahtuu esimerkiksi, jos vedenpinta rakennuksen ulkopuolella nousee lattiarakennetta korkeammaksi. Myös erilaiset vuodot putkissa ja vedeneristeissä ovat merkittäviä kosteuslähteitä. Betonilattia voi imeä itseensä myös sisäilman kosteutta. Sisäilman kosteuden vaikutus lattianpäällysteiden, kuten esimerkiksi parkettilattioiden, muodonmuutoksiin on merkittävä. (Niemi et al. 2007).

Ryömintätilallisissa betonialapohjissa sekä välipohjarakenteissa kosteusongelmat johtuvat useimmiten rakennusaikaisesta kosteudesta, jonka ei ole annettu kuivua riittävästi ennen päällystämistä. Lisäksi kosteusongelmia ovat aiheuttaneet märkätilojen puutteellinen vedeneristys sekä erityisesti erilaiset putkivuodot.

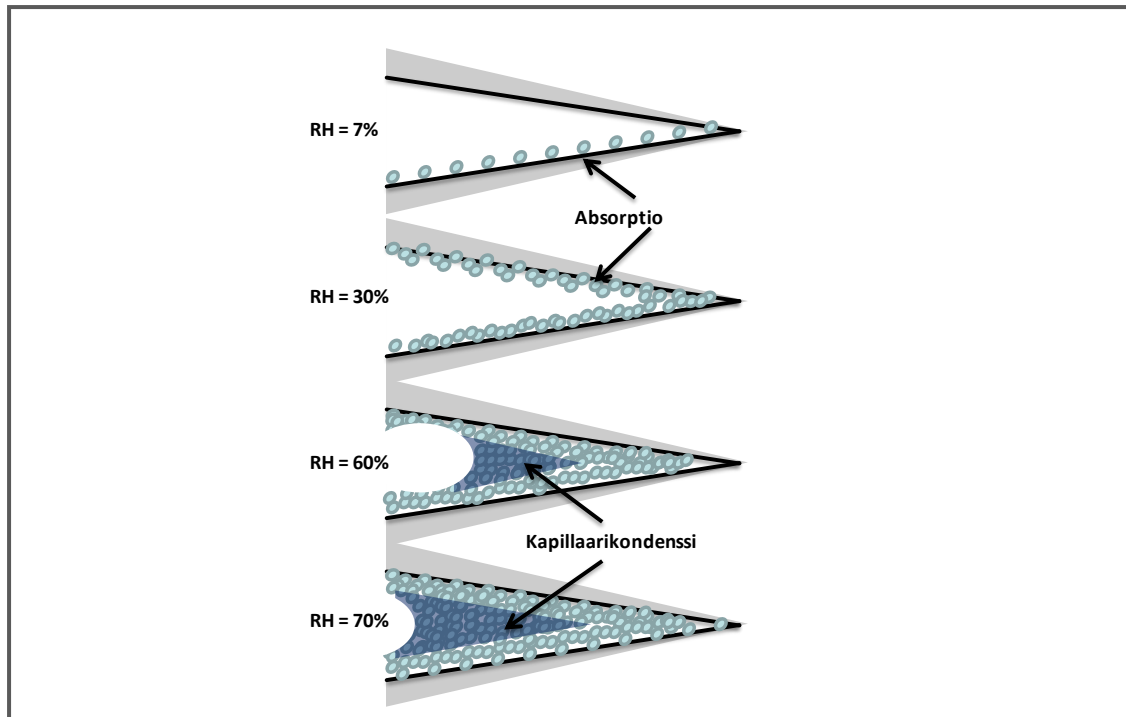
2.2 KOSTEUDEN SITOUTUMINEN BETONIIN

Vesi on oleellinen raaka-aine betonin valmistamisessa. Veden tehtävänä on muodostaa sementin kanssa sementtiliima, joka sitoo runkoainepartikkelit (sepele, sora, hiekka, kevytsora jne.) toisiinsa. Betonin valmistamiseen käytetään kuitenkin huomattavasti enemmän vettä kuin mitä veden ja sementin välisessä kemiallisessa reaktiossa eli hydratoitumisreaktiossa sitoutuu. Vettä tarvitaan betonin työstettävyyden saavuttamiseksi, mutta myös itse hydratoitumisreaktio edellyttää riittävää kosteuden läsnäoloa. (Copeland et al. 1955; Powers 1947).

Hydratoitumisprosessissa vain osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti. Kemiallisesti sitoutuneen veden määrä W_n on noin 25 % hydratoituneen sementin määrästä (Nilsson 1980; Powers et al. 1947). Sementtimäärän C lisäksi kemiallisesti sitoutuneen veden määrään vaikuttaa myös sementin hydratoitumisaste α . Betonin kemiallisesti sitoutuneen veden määrä voidaan määrittää kaavalla $W_n = 0,25 \cdot \alpha \cdot C$. Sementin hydratoitumisnopeus on riippuvainen betonin vesi-sideainesuhteesta (v/s), sementtilaadusta, lämpötilasta ja materiaalin kosteudesta (Powers et al. 1947; Powers 1960). Esimerkiksi, jos normaalin lattiabetonin (v/s 0,8) valmistamiseen käytetään 200 kg/m^3 vettä ja 250 kg/m^3 sementtiä, alkuperäisestä vesimäärästä sitoutuu kemiallisesti

vain noin 50 kg/m^3 sementin hydratoitumisasteen (α) ollessa 0,8. Loppuvesi, tässä tapauksessa 150 kg/m^3 , sitoutuu betonin huokosrakenteeseen fysikaalisesti. Miten paljon betonin alkuperäisestä vesimäärästä sitoutuu kemiallisesti ja miten paljon sitoutuu fysikaalisesti, riippuu erityisesti betonin vesi-sideainesuhteesta.

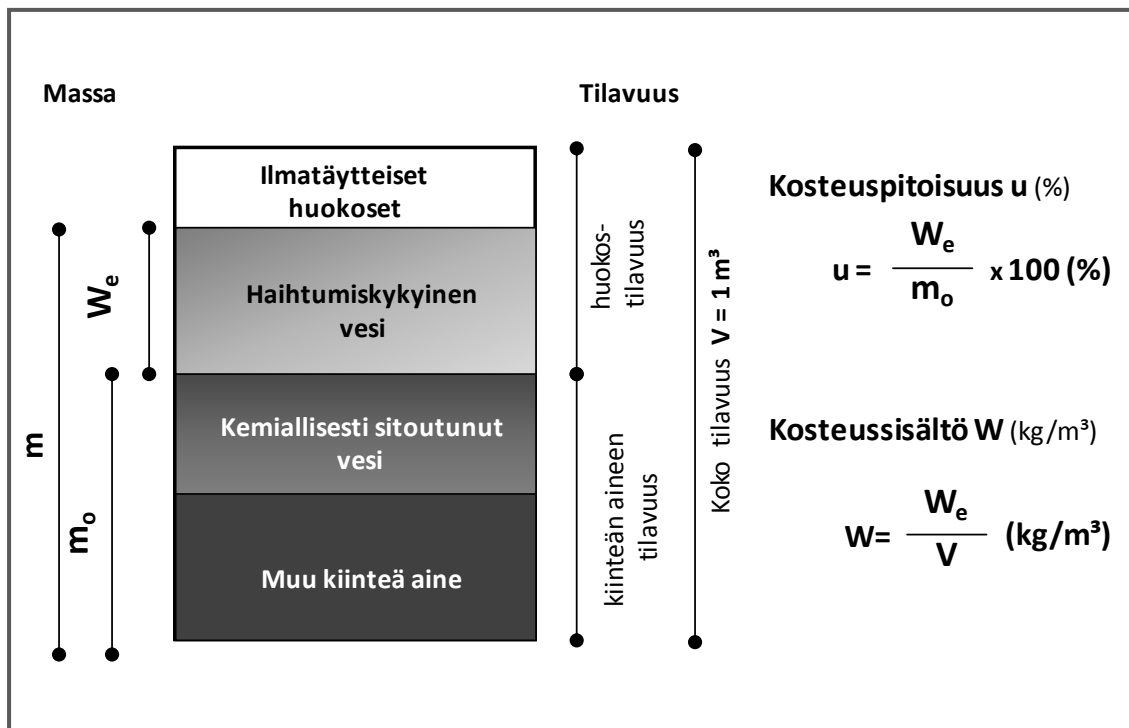
Fysikaalisesti sitoutunut vesi on betonissa osin adsorboituneena huokosten pintaan vesimolekyylikerroksina ja osin kapillaarikondenssin vaikutuksesta (Ahlgren 1972). Lisäksi huokosen ilmatilassa on vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta. Tämä vesihöyrypitoisuus (g/m^3) yhdessä betonin lämpötilan kanssa muodostavat betonin huokosilman suhteellisen kosteuden eli lyhyesti betonin suhteellisen kosteuden RH (%). Adsorptiolla sitoutuneen kosteuden määrä eli vesimolekyylikerrosten paksuus kasvaa suhteellisen kosteuden noustessa (kuva 6). Osa betoniin sitoutuneesta vedestä on sitoutunut fysikaalisesti sementtigelisysteemin huokosiin eli geelihuokosiin. Tämä niin sanottu geelivesi poistuu vasta alle 11 % suhteellisessa kosteudessa (Mehta et al. 2006, s. 34).



Kuva 6. Suhteellisen kosteuden RH (%) noustessa betonin huokosseinämiin sekä absorptiolla että kapillaarisesti sitoutuneen kosteuden määrä kasvaa. (Ahlgren 1972, s. 34).

Fysikaalisesti sitoutunut vesi W_e on vapaata haihtumiskykyistä vettä, joka pystyy liikkumaan betonin huokosrakenteessa toisin kuin kemiallisesti sitoutunut vesi. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on nimenomaan sitä kosteutta, joka voi olla haitallista lattianpäällysteille ja –pinnoitteille. Fysikaalisesti sitoutunut vesi pyrkii poistumaan betonista sen pyrkiessä hygroskooppiseen tasapainotilaan ympäröivän ilman kanssa. Tasapainotilassa betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on sama kuin ympäröivän ilman. Hygroskooppisena materiaalina betoni voi myös imeä ympäröivästä ilmasta kosteutta. Betoni siis joko luovuttaa tai vastaanottaa vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta kunnes tasapainotila on saavutettu. Kosteuden poistuessa betonin suhteellinen kosteus laskee ja betoni kuivuu.

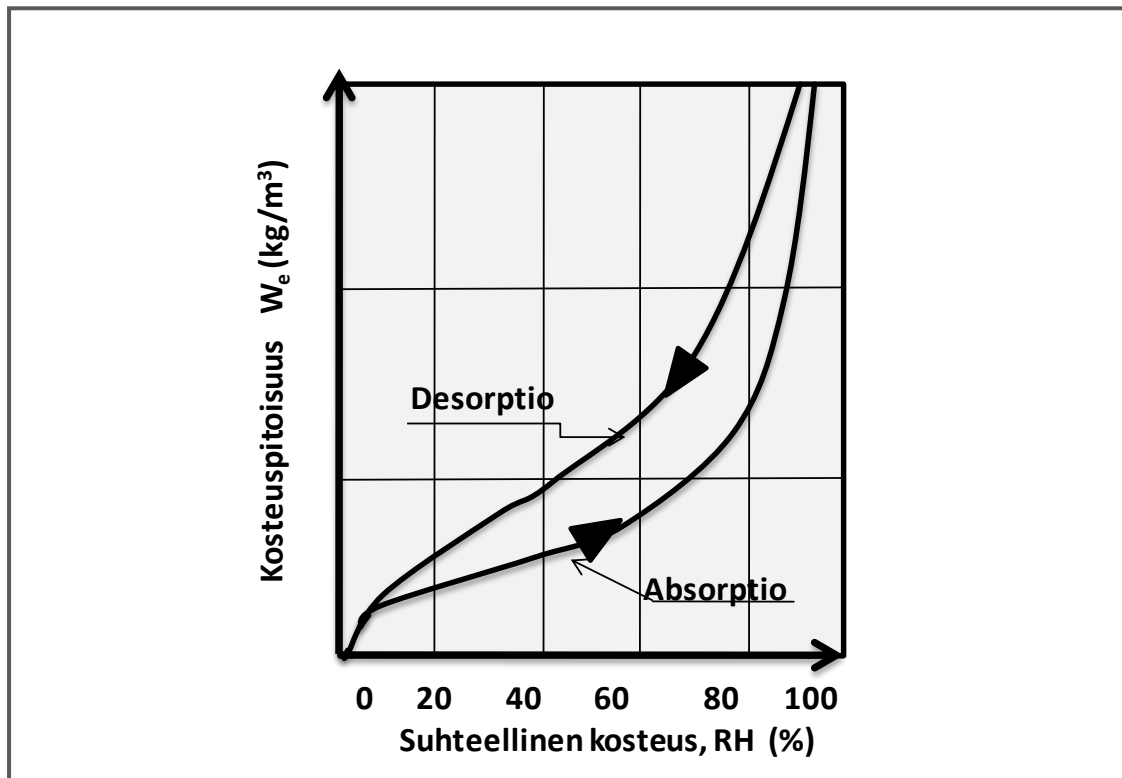
Betonin kosteuspitoisuudella tarkoitetaan yleensä betoniin fysikaalisesti sitoutuneen veden määrää, joka voidaan ilmoittaa kosteuspitoisuutena painoprosentteina betonin kuivapainosta ($p\%$) tai kosteussisältönä betonin tilavuuden suhteessa (kg/m^3) (kuva 7). Betonin kosteuspitoisuus voidaan määrittää niin sanotun punnitus-kuivatusmenetelmän avulla (Nilsson 1979, s. 10–18).



Kuva 7. Periaatteellinen kuva kiinteän aineen, huokosten ja kosteuden jakautumisesta betonissa. Betonin kosteuspitoisuus (u) ilmoittaa betonissa olevan haihtumiskykyisen veden massan suhteen betonin kiinteän aineen massa (m_o) prosentteina (%). Betonin kosteussisältö W voidaan ilmoittaa myös haihtumiskykyisen veden massan ja betonin koko tilavuuden suhteena (kg/m^3). (Betonghandbok 1997, s. 302).

Betonin kosteuspitoisuus voidaan ilmoittaa myös suhteellisen kosteuden RH (%), mikä on betonin huokosten ilman ominaisuus ja määräytyy betonin huokosen ilmatilassa olevan vesihöyryn määrän (g/m^3) sekä lämpötilan perusteella. Betonin suhteellinen kosteus ei ota huomioon sitä kosteutta, joka on huokosten pintaan kiinnittyneenä.

Betonin suhteellisen kosteuden RH (%) ja kosteuspitoisuuden W_e (kg/m^3) tai u (p-%) välille voidaan laatia hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä eli sorptiokäyrä (kuva 8). Käyrä ilmoittaa, kuinka paljon tietyssä betonissa on kosteutta (kg/m^3) tietyllä suhteellisen kosteuden RH (%) arvolla tietyssä lämpötilassa. Kirjallisuudesta löytyvät eri betoni- en hygroskooppiset tasapainokosteuskäyrät on yleensä määritetty pitämällä materiaali- koekappaletta vakio-olosuhteissa tietyssä suhteellisen kosteudessa ja lämpötilassa (yleensä $+ 20\text{ }^\circ\text{C}$) niin kauan, ettei sen paino enää muutu, minkä jälkeen koekappaleen kosteuspitoisuus on määritetty punnitus-kuivatusmenetelmällä (Norling-Mjörnell 1997, s. 34).

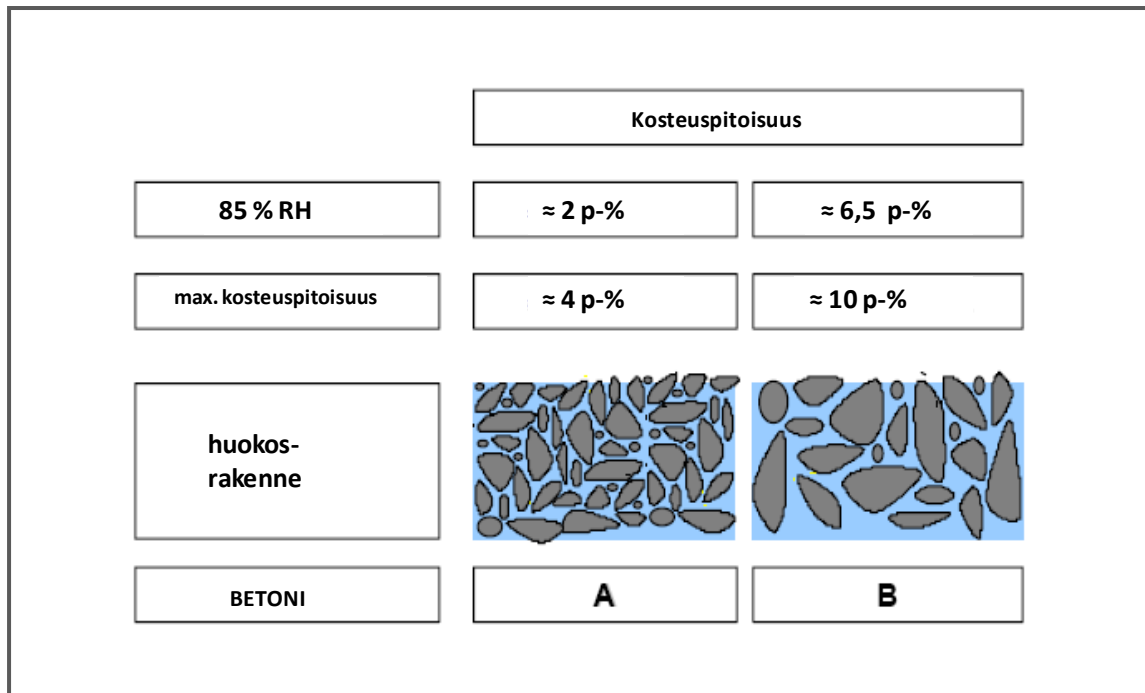


Kuva 8. Periaatteellinen kuva erään betonin hygroskooppisesta tasapainokosteuskäyrästä, mikä ilmoittaa betonin sisältämän haihtumiskykyisen veden määrän W_e (kg/m^3) tietyllä suhteellisen kosteuden RH (%) arvolla tietyssä tasapainotilassa. Desorptiokäyrä kuvaa tilannetta betonin kuivuessa ja absorptiokäyrä tilannetta betonin kostuessa. (Ahlgren 1972, s. 46).

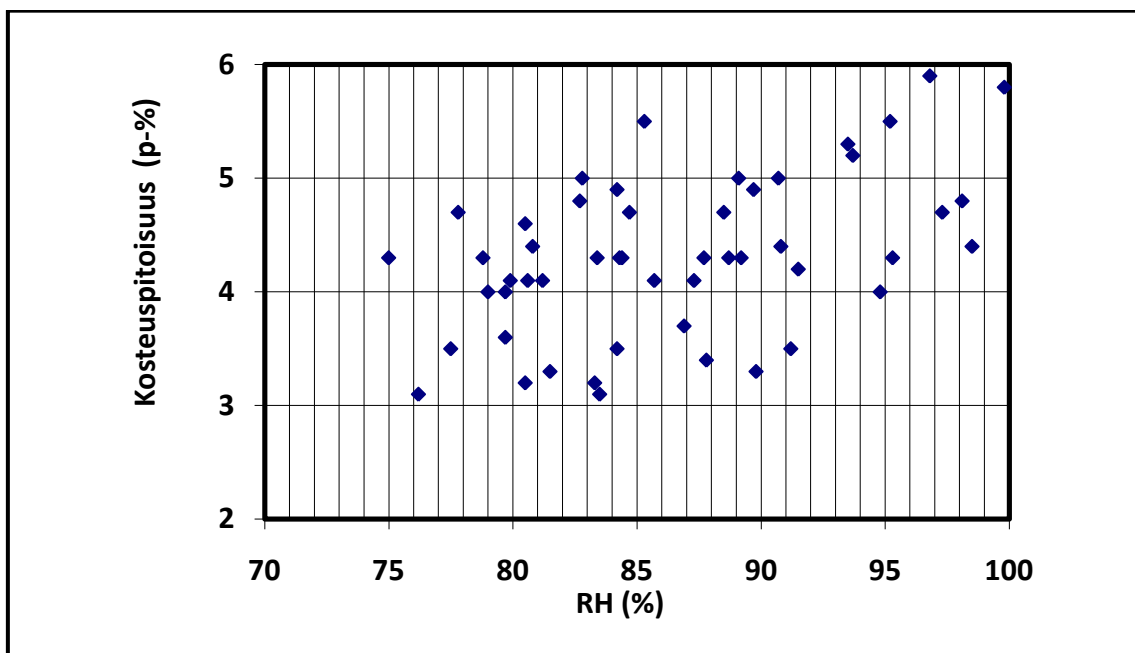
Tasapainokosteuskäyrissä voi olla huomattavia eroja riippuen betonin vesi-sideainesuhteesta, huokoisuudesta, hydratoitumisasteesta ja lämpötilasta. Käyrä on myös erilainen riippuen siitä, onko betoni kuivumassa (*desorptio*) vai kostumassa (*absorptio*) (Ahlgren 1972). Kosteuden sitoutumista erilaisiin betoneihin ovat tutkineet muiden muassa Powers et al. (1947), Sereda et al. (1966), Ahlgren (1972) sekä Pihlaja-vaara (1965; 1974).

Lämpötila vaikuttaa merkittävästi betonin huokosrakenteessa olevan kosteuden sitoutumiseen. Yleensä lämpötilan noustessa mutta betonin kosteussisällön pysyessä vakiona betonin huokosilman suhteellinen kosteus nousee. Tämä johtuu siitä, että lämpötilan noustessa osa huokosen pintaan kiinnittyneestä kosteudesta siirtyy huokosen ilmatilaan, jolloin huokosilman kosteussisällön (g/m^3) nousu (enemmän kuin ilman kyky sitoa kosteutta kasvaa) saa myös huokosilman suhteellisen kosteuden nousemaan. Lämpötilan laskiessa huokosen pintaan sitoutuu enemmän kosteutta, jolloin huokosilman kosteussisältö ja samalla suhteellinen kosteus laskee (Nilsson et al. 2005, s. 9). Ilmiö on eri kuin mitä ilmassa tapahtuu lämpötilan muuttuessa mutta ilman kosteussisällön pysyessä samana.

Miten paljon betonissa on kosteutta (kg/m^3) tietyllä suhteellisen kosteuden arvolla, riippuu siis betonin ominaisuuksista ja lämpötilasta. Betonin suhteellinen kosteus ei kerro, mikä betonin todellinen kosteuspitoisuus (kg/m^3) on (Nilsson 1979, s. 15). Kahdella eri betonilla voi olla sama suhteellinen kosteus RH (%), mutta niiden kosteuspitoisuuksissa painoprosentteina (p-%) voi olla huomattavia eroja, ja päinvastoin. Littmann et al. (2000) mukaan esimerkiksi suhteellisen kosteuden ollessa 85 % alhaisen huokosmäärän omaavan betonin kosteuspitoisuus on noin 2 p-%, kun vastaavasti huokoisemmalla betonilla se voi olla jopa yli 6 p-%. Myös eri betonien maksimikosteuspitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti. Esimerkiksi 4 p-% voi tarkoittaa toiselle betonille hyvinkin korkeaa kosteutta, kun taas vastaavasti jollekin toiselle alhaista (kuva 9). Al-Neshawy (1996) on tutkimuksessaan määrittänyt kolmesta eri betonilaadusta tehtyjen betoni-koekappaleiden kosteustilan kuivumisen eri vaiheissa sekä suhteellisena kosteutena että painoprosentteina. Tutkimuksessa havaittiin muun muassa, että kosteuspitoisuuden ollessa noin 4 p-% joillakin betoneilla suhteellinen kosteus oli noin 80 %, kun taas joillakin toisilla se saattoi olla jopa 95 % (kuva 10).



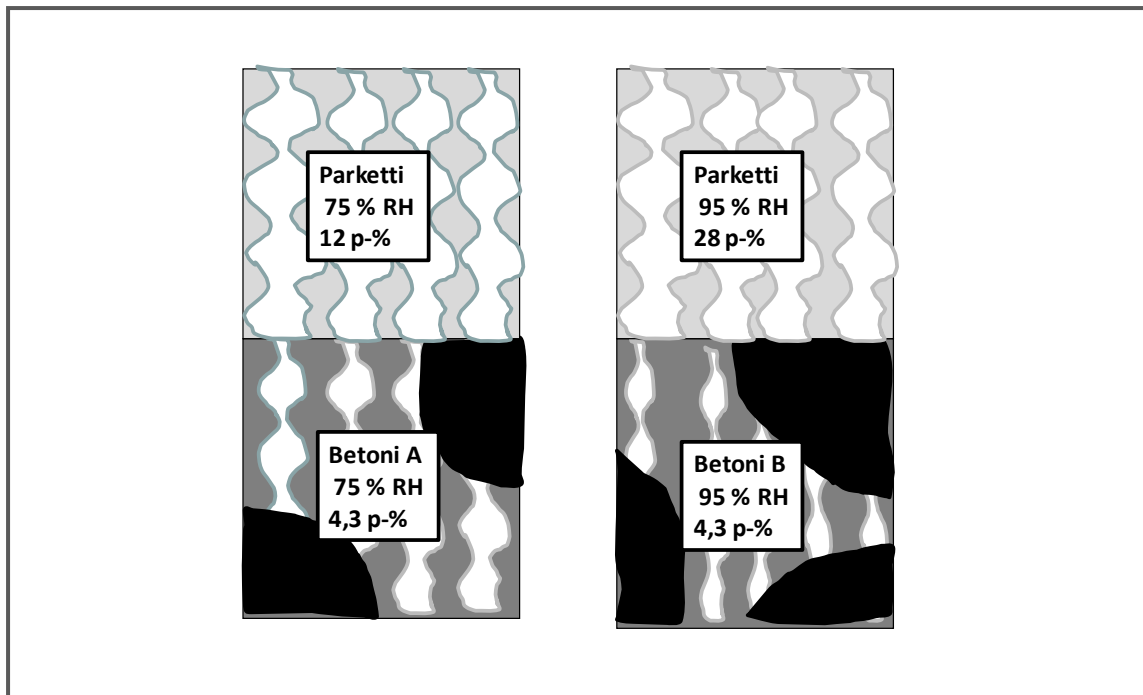
Kuva 9. Johtuen betonien erilaisesta huokosrakenteesta kahden eri betonin maksimikosteuspitoisuus (p-%) sekä tasapainokosteuspitoisuus (p-%) samassa suhteellisessa kosteudessa (esim. 85 % RH:ssa) ovat erisuuria. (Littmann et al. 2000).



Kuva 10. Betonin suhteellisen kosteuden RH (%) ja kosteuspitoisuuden (p-%) suhde muutamalle eri betonilaadulle eri iässä. (alkuperäinen lähde Al-Neshawy 1996).

Suhteellinen kosteus kertoo painoprosenttikosteutta paremmin, miten haitallista betonissa oleva kosteus voi olla betoniin kontaktissa olevalle toiselle materiaalille. Jos esimerkiksi kostean betonin pintaan asennetaan puupäällyste, betoni pyrkii tasapainokosteuteen puun kanssa eli luovuttaa kosteutta niin kauan kunnes suhteellinen kosteus betonin huokosrakenteessa on sama kuin puun huokosrakenteessa. Jos tämä kosteus ei edelleen pysty poistumaan puusta, kosteuden lisääntyessä puu voi alkaa esimerkiksi turvota ja siihen voi syntyä mikrobikasvustoa. (kuva 11)

Erilaisilla rakennusmateriaaleilla on erilainen kyky sitoa kosteutta johtuen niiden erilaisesta huokosrakenteesta. Esimerkiksi jos parketti ja betoni ovat saavuttaneet hygroσκοoppisen tasapainokosteuden 95 %:n suhteellisessa kosteudessa, parketissa voi olla yli 20 painoprosenttia kosteutta, kun vastaavasti jossakin betonissa voi olla noin 4 painoprosenttia. Lisäksi eri betonilaatujen huokosrakenteissa ja siten niiden kosteudensitomisoimaisuuksissa on merkittäviä eroja. (Ahlgren 1972).



Kuva 11. Vaikka kahdella eri betonilla olisi sama kosteussisältö painoprosentteina (4,3 p-%) voi niiden suhteellisessa kosteudessa, RH, olla kuitenkin suuri ero (betoni A: 75 % RH ja betoni B: 95 % RH). Kun parketti on kosketuksessa betoniin, tasapainotilassa parketin suhteellinen kosteus on sama kuin betonin. Kosteuspitoisuudessa painoprosentteina on kuitenkin eroja johtuen materiaalien erilaisesta huokosrakenteesta. (Merikallio et al. 2000, s. 33).

2.3 BETONILATTIAN KOSTEUSVAURIOT

Kosteus vaikuttaa betonilattiaan monin tavoin. Kosteuden vaikutukset voivat kohdistua sekä itse betoniin että betoniin kosketuksissa oleviin muihin materiaaleihin kuten lattianpäällysteisiin ja pinnoitteisiin aiheuttaen erilaisia vaurioita.

Huokoisena materiaalina betoni pystyy sekä vastaanottamaan että luovuttamaan kosteutta. Tämä kosteuden liike voi aiheuttaa betonirakenteessa huomattavia muodonmuutoksia; kuivuessaan betoni kutistuu ja kostuessaan turpoaa (Springenschmid et al. 1993). Betonin kuivumiskutistumaa pidetään yhtenä merkittävimpänä syynä betonirakenteen halkeamiin sekä esimerkiksi keraamisten laattojen irtoamiseen betonialustastaan (Lainio et al. 1998). Jos betonirakenne on kostea laattojen kiinnityshetkellä, rakenteen kuivuminen esimerkiksi saumojen kautta voi jatkua pitkään laatoittamisen jälkeen. Kuivumisen seurauksen alustabetoni kutistuu mutta keraamiset laatat eivät. Jos laattojen kiinnitysjärjestelmän muodonmuutoskyky ei ole riittävä kestämään laattojen ja kutistuvan betonin välistä leikkausvoimaa, laatat voivat irrota alustastaan. Betonirakenteen turpoaminen johtuen esimerkiksi putkivuodon aiheuttamasta kastumisesta voi myös johtaa vastaavanlaisen vaurioon.

Monet huokoiset lattianpäällystemateriaalit, kuten esimerkiksi parketit, voivat imeä kosteutta alustabetonista, jolloin seurauksena on parketin turpoaminen ja mahdollinen irtoaminen alustasta. Hillerborg (1977) mukaan puupohjaisten materiaalin turpoaminen kasvaa huomattavasti kosteuspitoisuuden noustessa ja puolet turpoamisesta tapahtuu suhteellisen kosteuden noustessa yli 75 %:iin. Tähän perustuen monet puupohjaisten rakennusmateriaalien valmistajat ilmoittavatkin materiaalien kriittiseksi suhteellisen kosteuden arvoksi 60–75 %:a (Nilsson 1980). Myös PVC -pohjaisissa lattianpäällystemateriaaleissa on havaittu kosteuden - erityisesti alkalisen kosteuden - aiheuttamia muodonmuutoksia. Muovimattojen pehmitinaineiden kemiallisen hajoamisen on todettu aiheuttavan muun muassa maton kutistumaa. (Nilsson et al. 1987, Nilsson 2004, 28).

Kosteudella on tärkeä rooli monissa lattianpäällysteitä ja -pinnoitteita tuhoavissa kemiallisissa hajoamisreaktioissa. Vesi toimii sekä liuottimena että kuljettaa kaasuja ja ioneja materiaalista toiseen (Francy 1998; Climent et al. 2000). Lisäksi vesi osallistuu itse moniin kemiallisiin reaktioihin. Vesi yhdessä betonin alkali- ja kalsiumionien aiheuttaman korkean pH:n kanssa on haitallinen monille lattianpäällystemateriaaleille ja erityisesti päällysteiden kiinnittämiseen käytettävälle liimoille (Alexandersson 2004). Korkea kosteus voi myös aiheuttaa päällysteiden ja pinnoitteiden kuplimista ja värjäytymistä (Dively 1994). Jotkut epoksi- tai polyuretaanipohjaiset pinnoitteet voivat kosteuden vaikutuksesta menettää tartuntansa betonipintaan (Häkkä-Rönholm et al. 1999).

Näkyvien vaurioiden lisäksi betonilattian kosteuden on todettu vaikuttavan sisäilman laatuun. Lattianpäällystemateriaalien liuotinpäästöjä kuvaavien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) emissioiden on todettu kasvavan betonin kosteuden noustessa (Järnström 2005). Näiden yhdisteiden uskotaan osaltaan vaikuttavan niin kutsutun sairassrakennus -oireryhmään (*SBS = sick building syndrome*) ja niiden epäillään myös olevan osasyyn erilaisten allergioiden lisääntymiseen länsimaissa (Otto et al. 1990; Nielssen et al. 1997; Kreiss 1998; Villberg et al. 2004). Muovimatoissa pehmittiminä käytettyjen ftalaattien on todettu hajoavan alkalisen kosteuden vaikutuksesta muodostaen 2-

etyyliheksanolia (Gustafsson 1990). Itsestään tasoittuvissa lattiatasoiteissa käytetyn proteiineihin kuuluvan kaseiinin on todettu hajoavan korkeassa kosteudessa muodostaen muun muassa ammoniakkia (Karlsson et al. 1989; Gustafsson 1990; Bornehag 1991). Kaseiinin hajoamistuotteiden on todettu värjäävän lattianpäällysteitä sekä tuottavan epämiellyttävää hajua. Normaaleissa kuivissa olosuhteissa ja asianmukaisesti käsiteltyinä kaseiinipitoisten tasoitteiden ei ole todettu aiheuttavan ongelmia (Ericsson et al. 1984). Useimmissa tuotteissa kaseiinin käytöstä on nykyisin luovuttu. Päällystettyjen betonilattioiden emissioita ovat tutkineet muiden muassa Fritsche (1996), Wengholt-Johnsson (1995;1998), Eronen et al. (1998), Sjöberg et al. (1999), Sjöberg (2001), Wirtanen et al. (2002), Persson (2003), Alexanderson (2004) ja Järnström (2005). Sekä Wengholt-Johnsson (1995;1998) että Eronen et al. (1998) havaitsivat tutkimuksessaan, että PVC-matolla päällystetyn betonilattian butanoli- ja 2-etyyliheksanoliemissiot lisääntyivät maton ja betonin välissä olevan liiman suhteellisen kosteuden noustessa.

Vaikka betoni epäorgaanisena materiaalina on varsin huono kasvualusta mikrobeille, päällystetyssä betonilattiarakenteessa erityisesti betonipinnan ja päällysteen välissä olevassa liima- ja tasoitekerroksessa voi esiintyä terveydelle haitallista mikrobikasvua. Mikrobikasvu on harvinaista puhtaan betonin pinnalla, mutta esimerkiksi joidenkin betonin pintaan jääneiden muottijäljien on todettu aiheuttavan mikrobikasvua betonissa (Blomsterberg et al. 1998). Nielsen et al. (2004) mukaan betonissa voi esiintyä mikrobikasvua, kun suhteellinen kosteus on yli 95 % ja lämpötila on vähintään +10 °C. Vaikka betonin korkea pH ehkäisee mikrobikasvun syntyä, nopeakin kasvu on mahdollista, kun läsnä on riittävästi kosteutta, lämpöä, happea ja ravinteita. Betonilattiarakenteessa mikrobikasvun kannalta herkimpiä ovat betonin pinnassa olevat orgaanisia aineita sisältävät materiaalit, joille kriittisenä suhteellisen kosteuden arvona voidaan Viitasen (2004) mukaan pitää 80–90 %. Puhtaalle ja uudelle betonipinnalle vastaavana arvona voidaan pitää 97–98 % (Viitanen 2004). Täten ei niinkään itse betoni vaan betonirakenteen pinnassa mahdollisesti olevat orgaanisia aineita sisältävät kerrokset asettavat rakenteen kriittisen kosteusarvon mikrobikasvun kannalta. Ajan kuluessa tapahtuva betonin karbonatisoituminen, betonin pinnan käsittely ja erilaisten orgaanisten materiaalien kerääntyminen betonin pintaan vaikuttavat mikrobikasvun syntynopeuteen.

Betonin sisältämä kosteus voi siis aiheuttaa betonilattiarakenteen pintaan asennetuille päällysteille ja levitetyille pinnoitteille erilaisia vaurioita, jos betonin kosteuspitoisuus päällysteen tai pinnoitteen välittömässä läheisyydessä ylittää päällyste- tai pinnoitemateriaalin kosteudensietokyvyn. Suuri osa vaurioista voidaan välttää, kun huolehditaan, että betonirakenne on riittävän kuiva ennen päällystys- tai pinnoitustyöhön ryhtymistä ja estetään liiallisen lisäkosteuden pääsy rakenteeseen. Myös materiaalivalinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa betonilattiarakenteen kosteustekniseen toimivuuteen. Erityisesti rakenteissa, joissa ulkopuolisen kosteuden pääsyä rakenteeseen ei voida täysin estää, on ensisijaisen tärkeää valita päällystemateriaaliksi sellainen tuote, joka pystyy läpäisemään kosteutta. Esimerkiksi maavaraisissa betonilattioissa päällystemateriaalin vesihöyrynläpäisevyyden tulee olla niin suuri, että rakenteen läpi huonetilaan pyrkivä kosteus läpäisee päällysteen nopeammin kuin mitä maaperästä siirtyy rakenteeseen. Kosteusteknisesti riskirakenteina voidaan pitää muun muassa sellaisia maanvaraisia betonilattioita, jotka päällystetään tiiviillä muovi- tai kumimatolla. Ongelmia voi syntyä myös käytettäessä parketti- ja laminaattilattioissa vesihöyryntiiviitä alusmateriaaleja. Valittavasti monissa parketti- ja laminaattilattioiden asennusohjeissa nimenomaan vaaditaan,

että päällysteen alle on laitettava höyrynsulku (esim. polyeteenikalvo). Parketti- ja lami-naattipäällysteet voivat kyllä tällöin säilyä vaurioitumattomina, mutta tiiviin höyrysulun alla mahdollisesti oleva tasoite voi liiallisen kosteuden vaikutuksesta vaurioitua aiheut-taen muuan muassa sisäilmaongelmia. Ongelmia voi myös syntyä betonilattian ja seinän rajapintaan kohtaan, missä höyrynsulku päättyy. Höyrynsulun alta pois pyrkivän kos-teuden on käytännön kohteissa havaittu aiheuttavan vauriota muun muassa jalkalistoissa sekä seinän alaosissa.

Kosteusmittaus on eräs keino määrittää betonirakenteen kosteustila ja siten pyrkiä sel-vittämään, onko rakenne kosteusturvaurion synnyn estämisen kannalta riittävän kuiva esimerkiksi ennen lattianpäällystystyöhön ryhtymistä. Tällöin on kuitenkin syytä huo-mioida rakenteeseen mahdollisesti myöhemmin pääsevä kosteus, jonka vaikutusta ra-kenteen tulevaan kosteustilaan ei päällystämishetken mittauksilla yleensä arvioida. Esi-merkiksi maanvarainen lattiarakenne voidaan rakennusaikana todeta riittävän kuivaksi, mutta rakennuksen käytön aikana kosteuspiitoisuus voi maaperän kosteustuoton vaiku-tuksesta nousta kriittisen korkeaksi.

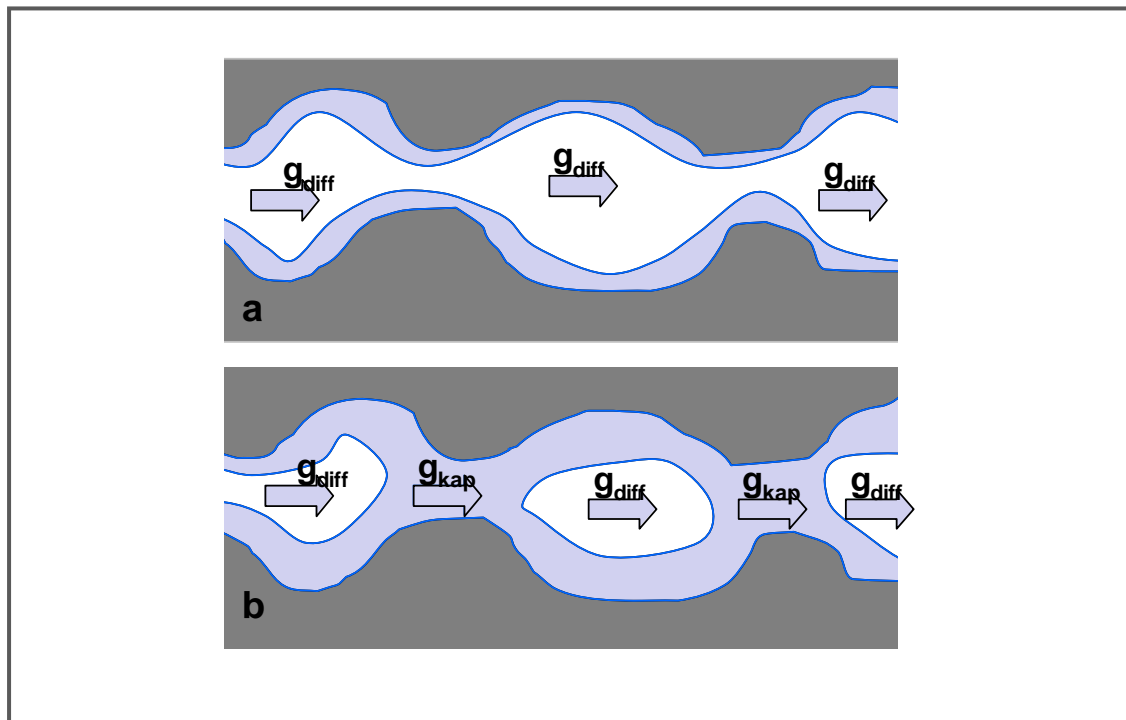
Jotta kosteusmittauksesta olisi hyötyä, erilaisten vaurioitumisilmiöiden kosteusriippu-vuus tulee tietää ja mittauksen tuloksena saatua kosteuslukemaa tulee pystyä vertaa-maan raja-arvoon, jossa kosteuden vaikutukset voivat aiheuttaa vaurioita. Tätä raja-arvoa kutsutaan kriittiseksi kosteudeksi (Nilsson 1980, s. 72).

2.4 BETONILATTIAN KUIVUMINEN

Lähtötilanteessa tuoreen betonin suhteellinen kosteus on noin 100 %. Riippuen betoni-laadusta betonin kosteuspiitoisuus painoprosentteina (p-%) voi tällöin vaihdella muuta-masta prosentista jopa 15 prosenttiin (Ahlgren 1972, s. 113). Betonin kovettuessa osa betonin valmistamiseen käytetystä seosvedestä sitoutuu kemiallisesti sementin hydratoi-tumisreaktiossa, minkä seurauksena betonissa tapahtuu kuivumista (Norling-Mjörnell 1995, s. 2). Tätä kuivumista voidaan kutsua kemialliseksi kuivumiseksi tai sitoutumis-kuivumiseksi. Mitä alhaisempi betonin vesi-sideainesuhde on, sitä suurempi on kemial-lisen kuivumisen osuus. Normaaleilla rakennebetoneilla kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on kuitenkin yleensä niin alhainen, että pelkästään kemiallisen kuivumisen seu-rauksena betonin suhteellinen kosteus laskee vain noin 98 %:iin, jolloin rakenteen kui-vuminen edellyttää myös haihtumiskuivumista. Betonin kuivuminen voidaan siis jakaa kemialliseen kuivumiseen ja haihtumiskuivumiseen (Pihlajavaara 1964, s. 40–41). Be-tonin ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi siihen, miten suuri osuus eri kuivumis-muodoilla on. Alhaisen vesi-sideainesuhteen betonilla suhteellinen kosteus voi laskea pelkän kemiallisen kuivumisen vaikutuksesta jopa 90 %:iin (Norling-Mjörnell 1997). Tällaisista betoneista käytetään muun muassa nimitystä itsestään kuivuvat betonit.

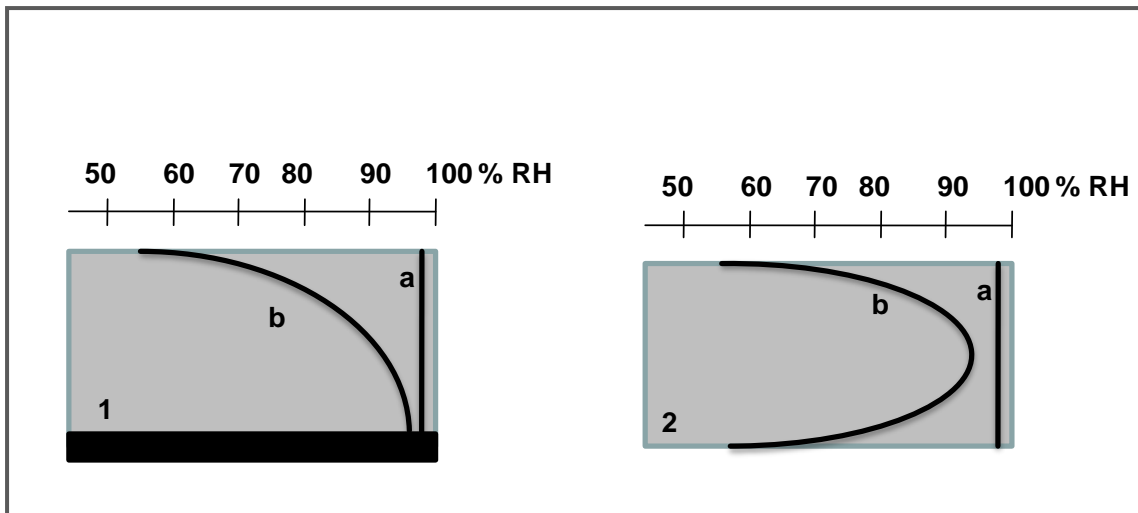
Kovettumisreaktion aikana tapahtuneesta kemiallisesta kuivumisesta huolimatta betonin suhteellinen kosteus esimerkiksi rakennustyömaalla on pitkään noin 100 %, johtuen muun muassa rakenteen kastumisesta jälkihoidon, sateen tai muuten kostean ilman vai-kutuksesta. Kun betonirakennetta ympäröivän ilman vesihöyrynosapaine on alhaisempi

kuin betonin huokosten ilmatilan vesihöyrynosapaine, betonin huokosrakenteessa oleva haihtumiskykyinen eli fysikaalisesti sitoutunut vesi pyrkii siirtymään betonista kohti ympäröivää tilaa jolloin betoni kuivuu. Betonilattian rakennekosteuden kuivuminen on hidas prosessi. Kuivumisnopeuteen vaikuttavat erityisesti betonin ominaisuudet, jälkihoito, rakenteen paksuus ja haihtumispinta-ala, rakenteen lämpötila sekä ympäröivän tilan suhteellinen kosteus ja lämpötila. (Nilsson 1980; Hedenblad 1995). Haihtumiskuivuminen on kosteuden liikkumista rakenteen sisältä kohti pintaa, mistä se haihtuu ympäröivään ilmaan. Kun rakenteen pinta on vielä märkä, haihtumista tapahtuu nopeasti. Alkuvaiheessa kosteutta siirtyy pääosin kapillaarisesti rakenteen sisäosista kohti pintaa, mistä sitä haihtuu. Pinta kuivuu kuitenkin nopeasti, minkä seurauksena kosteuden kapillaarinen siirtyminen pintaosissa estyy ja ainoaksi kosteuden siirtymismuodoksi pintaosissa jää diffuusio eli kosteuden siirtyminen vesihöyrymuodossa (kuva 12). Kosteuden siirtyminen diffuusiolla on kapillaariseen kosteuden siirtymiseen verrattuna erittäin hidasta. Kuivuminen hidastuu koko ajan haihtumisrintaman siirtyessä aina syvemmälle rakenteeseen. Kuivuminen jatkuu niin kauan kuin rakenteen sisällä sekä rakenteen ja ympäristön välillä on kosteuspitoisuusero. (Nilsson 1980).



Kuva 12. Kosteuden siirtyminen betonissa: a) alhainen RH: vain diffuusiolla g_{diff} b) korkea RH: sekä kapillaarisesti g_{kap} että diffuusiolla g_{diff} . (Sjöberg 2001, s. 122).

Haihtumiskuivumisen seurauksena betonilattiarakenteeseen muodostuu kosteusjakauma, jossa suhteellinen kosteus rakenteen sisällä on korkeampi kuin rakenteen pinnassa (Nilsson 1980). Syntyneen kosteusjakauman muotoon vaikuttavat lämpötila, suhteellinen kosteus, kuivumisjakson pituus sekä betonin ominaisuudet. Välipohjissa kosteusjakauma muodostuu yleensä niin, että suhteellinen kosteus on korkein laatan keski-osassa ja laskee keskeltä laatan pintaan tai pohjaan päin mentäessä. Jos laatan pohja on vesihöyryntiivis, kuten esimerkiksi teräspoimulevyn päälle valetuissa liittolaatoissa, tai suhteellinen kosteus laatan alapuolella on korkea, kuten esimerkiksi maanvaraisissa lattioissa, suhteellinen kosteus on korkein laatan alaosassa ja laskee ylöspäin mentäessä (kuva 13). Sisätiloihin rajoittuvien betonirakenteiden kuivuminen voi jatkua useita vuosia riippuen muun muassa rakenteen paksuudesta ja sisäilman kosteudesta. Vaikka betonilattioilta edellytetään rakentamisen aikaista kuivumista, rakenteiden ei tarvitse kuivua tasapainotilaan niitä ympäröivän huonetilan kanssa, mikä tarkoittaisi keskimäärin 50 -60 % suhteellista kosteutta. Tavoitteena on, että betonirakenne kuivuu niin paljon, ettei kosteudesta ole haittaa rakenteen pintaan laitettaville muille materiaaleille.



Kuva 13. Periaatteellinen kuva betonin suhteellisen kosteuden (RH) jakauman muuttumisesta yhteen ja kahteen suuntaan kuivuvan rakenteen kuivuessa vakio-olosuhteissa. Lähtötilanteessa (a) suhteellinen kosteus rakenteessa on koko poikkileikkauksen osalta sama. Haihtumiskuivumisen seurauksena rakenteeseen muodostuu kosteusjakauma (b) siten, että suhteellinen kosteus on alhaisin rakenteen pintaosissa ja kasvaa syvemmälle mentäessä. Yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa (1) suhteellinen kosteus on korkeimmillaan rakenteen alaosassa ja kahteen suuntaan kuivuvassa (2) rakenteen keskellä. (Hedenblad 1993 a, s.11).

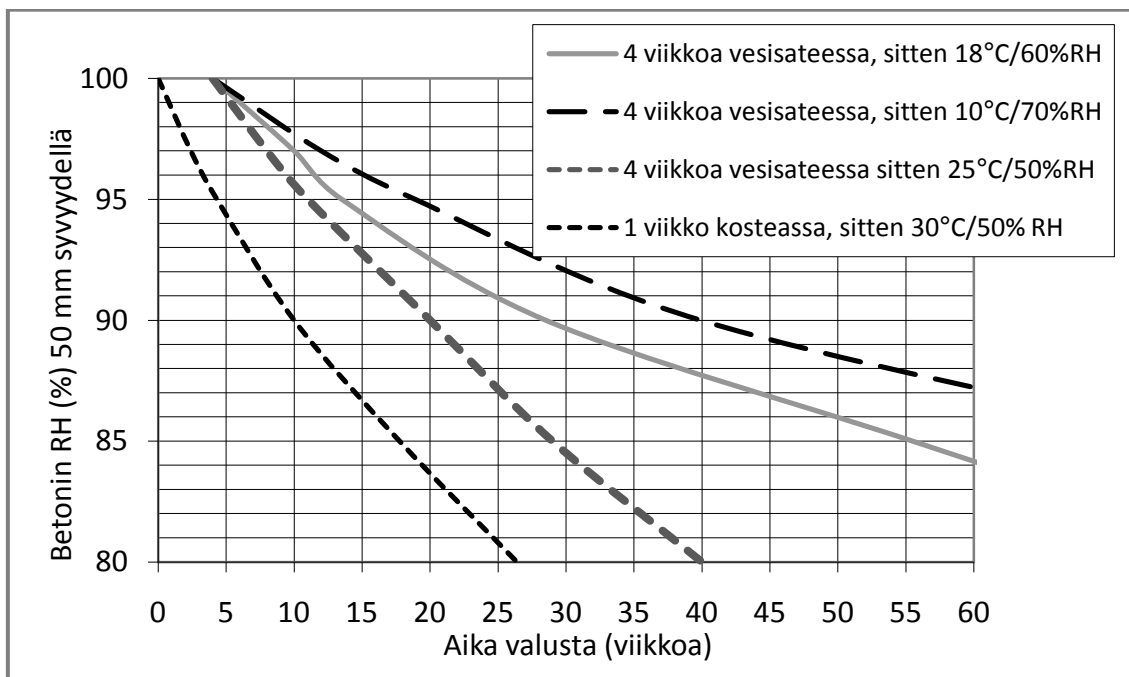
Betonin kosteudensiirto-ominaisuuksiin vaikuttavat erityisesti betonin vesi-sideainesuhde, betonin kosteus ja betonin lämpötila (Nilsson 1980; Hedenblad 1993,1995; Lindberg et al. 2002). Mitä alhaisempi betonin vesi-sideainesuhde on, sitä tiiviimpää betoni yleensä on ja siten myös sitä hitaammin se siirtää kosteutta. Betonin kosteuspitoisuuden nousu puolestaan nopeuttaa kosteudensiirtymistä betonissa. Lämpötilan nousu nostaa betonin huokosten ilmatilan vesihöyrynosapainetta ja siten nopeuttaa kosteuden siirtymistä (Nilsson 1980, s.105).

Rakennepaksuuden kasvattaminen hidastaa rakenteen kuivumista merkittävästi. Mitä paksumpi rakenne on, sitä pidemmän matkan rakenteen sisällä oleva kosteus joutuu siirtymään päästäkseen haihtumiskykyiseen pintaan. Jos rakennepaksuus kaksinkertaistuu tai kuivuminen toiseen suuntaan on estetty, kuivumisaika voi olosuhteista riippuen kasvaa jopa nelinkertaiseksi (Hedenblad 1997). Liittolevyrakenteissa ja muovin päälle valettaessa kuivumista pääsee tapahtumaan vain yhteen suuntaan. Kuorilaattarakenteissa ja ontelolaatan päälle valetuissa pinalattioissa kuivuminen alaspäin on yleensä ylöspäin tapahtuvaa kuivumista hitaampaa (Eronen 1996). Maanvaraisissa lattioissa rakenteen kyky kuivua alaspäin riippuu merkittävästi maaperän (täyttökerroksen) huokosilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta ja siten sen vesihöyrypitoisuudesta. Mikäli maaperän vesihöyrypitoisuus (vesihöyrynosapaine) on suurempi kuin betonirakenteen huokosilman, kosteuden haihtumista alaspäin ei tapahdu, vaan päinvastoin rakenne voi kostua.

Valuvaiheessa betonin huokokset ovat lähes täynnä vettä eivätkä ne siten pysty vastaanottamaan lisää kosteutta, mutta jo muutaman viikon päästä valusta tapahtuneella kastumisella voi olla merkittävä vaikutus rakenteelta vaadittavaan kuivumisaikaan. Hydratoitumisen (kovettumisen) edetessä betonin huokosrakenne tiivistyy. Useimmilla betoneilla on pitkään avoin kapillaariverkosto, joka mahdollistaa veden hyvinkin nopean imeytymisen betoniin. Mitä korkeampi betonin vesi-sideainesuhde on, sitä pidemmän aikaa kapillaariverkosto pysyy avoimena. Vesi-sideainesuhteen ollessa yli 0,7 betonin kapillaariverkosto ei sulkeudu koskaan (Nilsson 1980). Koska sade- ym. vedet imeytyvät betoniin pääosin kapillaarisesti, mutta poistuvat diffuusion vaikutuksesta, kosteuden poistuminen betonista on huomattavasti hitaampaa kuin kosteuden imeytyminen. Jo muutaman päivän kastuminen voi hidastaa rakenteen kuivumista useita viikkoja. Mitä myöhemmässä vaiheessa kastuminen tapahtuu, sitä enemmän se vaikuttaa rakenteelta vaadittavaan kuivumisaikaan sitä hidastavasti (Merikallio et al. 2003). Pahimmassa tapauksessa esimerkiksi neljän viikon mittainen kastumisjakso voi kasvattaa normaali-betonista tehdyn massiivisen välipohjan kuivumisaikaa jopa parilla kymmenellä viikolla (Hedenblad 1995). Vesivahingossa täysin kastuneen vanhan betonin kuivumisaika voi olla moninkertainen verrattuna nuoreen betoniin (Hedenblad 1993 a).

Useimpien aikaisempien betonin kuivumiseen liittyvien tutkimusten tavoitteena on ollut betonilattioiden kuivumisen nopeuttaminen muun muassa nopeammin kuivuvia betoni-laatuja kehittämällä. Tutkimustulosten pohjalta on myös laadittu erilaisia taulukoita ja käyrästöjä betonirakenteen kuivumisaajan arvioimiseksi. Esimerkiksi Suomen Betonitieto Oy:n julkaisi vuonna 2002 kirjan *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi* (Merikallio 2002), jonka tavoitteena on toimia apuvälineenä työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaa laadittaessa. Julkaisun kuivumisaika-arviot perustuvat sekä aikaisempiin tutkimuksiin että Humittest Oy:n toimesta vuosina 1995 - 2001 eri raken-

nustyömailla tehtyihin betonilattioiden kosteusmittauksiin. Kosteusmittaukset on tehty kahteen suuntaan kuivuissa rakenteissa 20 %:n ja yhteen suuntaan kuivuissa rakenteissa 40 %:n syvyydeltä rakenteen paksuudesta perustuen mittaushetkellä voimassa oleviin kosteusmittausohjeisiin. Kuivumisaika-arvioissa määritetään edellä mainitulla mittaussyvyydellä vallitseva betonin suhteellisen kosteuden muutos ajan funktiona. Muuttujina käytetään betonin vesi-sideainesuhdetta, rakenteen paksuutta ja kuivumisolosuhteita (kuva 14). Koska betonirakenteen kuivumiseen vaikuttaa monta eri tekijää ja esimerkiksi olosuhteet kuivumisjakson aikana voivat muuttua merkittävästi, kuivumisaika-arvioita voidaan pitää vain suuntaa-antavina ja ne toimivat lähinnä työkaluina betonilaatua valittaessa sekä kuivatusta suunniteltaessa. (Merikallio 2002).



Kuva 14. 250 mm paksun betonivälipohjan (betonin v/s 0,7) arvioitu kuivumisnopeus eli rakenteessa 50 mm syvyydellä (20 % rakenteen paksuudesta) vallitsevan betonin suhteellisen kosteuden (RH) lasku erilaisissa kuivumisolosuhteissa ajan funktiona. (Merikallio 2002, s. 42).

2.5 YHTEENVETO BETONILATTIAN KOSTEUEDESTA

Betoni on huokoinen rakennusmateriaali, joka sisältää aina jonkin verran kosteutta. Kosteus on peräisin betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sekä betoniin ympäristöstä siirtyneestä nestemäisessä tai kaasumaisessa muodossa olevasta kosteudesta. Yleensä vain pieni osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti betonin kovettumisreaktiossa. Loppuosa vedestä on betonin huokosrakenteeseen fyysikaalisesti sitoutunutta haihtumiskykyistä vettä, jota poistuu ympäristöön betonin pyrkinessä tasapainokosteuteen sitä ympäröivän tilan kanssa. Sekä kemiallisen sitoutumisen että veden haihtumisen seurauksena betonin kosteussisältö pienenee eli betonin kuivuu.

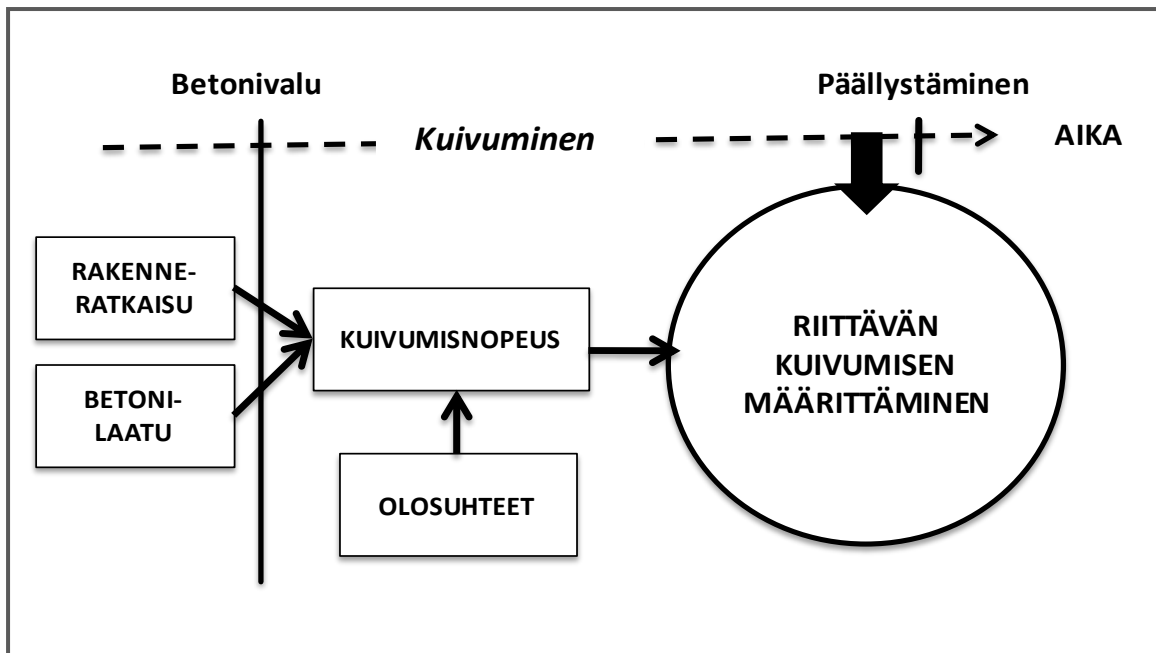
Betonin sisältämän haihtumiskykyisen kosteuden määrä voidaan ilmoittaa painoprosenttina betonin kuivapainosta (p-%) tai kosteuden määränä betonikuutioita kohti (kg/m^3). Betonin kosteustilaa voidaan kuvata myös suhteellisenä kosteutena RH (%), millä tarkoitetaan betonin huokosilman suhteellista kosteutta. Huokoisena materiaalina betoni pyrkii hygroskooppiseen tasapainotilaan sitä ympäröivän ilman kanssa. Tasapainotilassa betonin huokosen ilmatilan suhteellinen kosteus on sama kuin ympäristön. Betonin huokosrakenne sekä lämpötila vaikuttavat merkittävästi siihen, mikä betonin kosteuspiitoisuus (p-%) tietyllä suhteellisen kosteuden arvolla on. Kahdella eri betonilla voi olla sama suhteellinen kosteus RH (%), mutta niiden kosteuspiitoisuudessa (p-%) voi olla huomattavia eroja.

Betonilattiarakenteessa betonin sisältämä haihtumiskykyinen kosteus voi aiheuttaa lattianpäällysteissä ja pinnoitteissa erilaisia vaurioita. Kosteusvaurioiden synnyn välttämiseksi betonilattioiden annetaan rakennusaikana kuivua tai niitä kuivatetaan ennen lattianpäällystystyöhön ryhtymistä. Tavoitteena on, että rakenne kuivuu niin paljon, ettei rakenteen sisältämä kosteus nouse päällystämisen jälkeen päällysteen välittömässä läheisyydessä vaurioitumisen kannalta kriittisen korkeaksi. Tämä kriittinen kosteus on riippuvainen erityisesti päällystemateriaalin kyvystä sietää kosteutta sekä kyvystä läpäistä kosteutta. Kriittinen kosteus ilmoitetaan yleensä suhteellisenä kosteutena RH (%). Betonin ominaisuudet, rakenneratkaisu sekä kuivumisolosuhteet vaikuttavat merkittävästi siihen, miten nopeasti betonilattia kuivuu tavoiteltuun kosteustasoon.

Erityisesti maanvaraisissa rakennusaikainen kuivattaminen ei välttämättä kuitenkaan tuo varmuutta siitä, ettei kosteusvaurioita syntyisi. Vaikka kapillaarinen kosteudensiirtyminen maasta rakenteeseen on estetty, kosteus voi siirtyä maaperästä rakenteeseen vesihöyryn diffuusiolla. Maaperän vesihöyrynosapaine on yleensä korkeampi kuin rakenteen yläpuolisen sisäilman, minkä seurauksena kosteus pyrkii siirtymään maaperästä rakenteen läpi huoneilmaan. Mikäli tämä kosteusvirta on suurempi kuin päällystemateriaalin kyky läpäistä kosteutta, kosteus lattianpäällysteen alla voi nousta vaurioitumisen kannalta kriittisen korkeaksi. Päällystemateriaalin vesihöyrynläpäisevyydellä on merkittävä vaikutus maanvaraisen rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen.

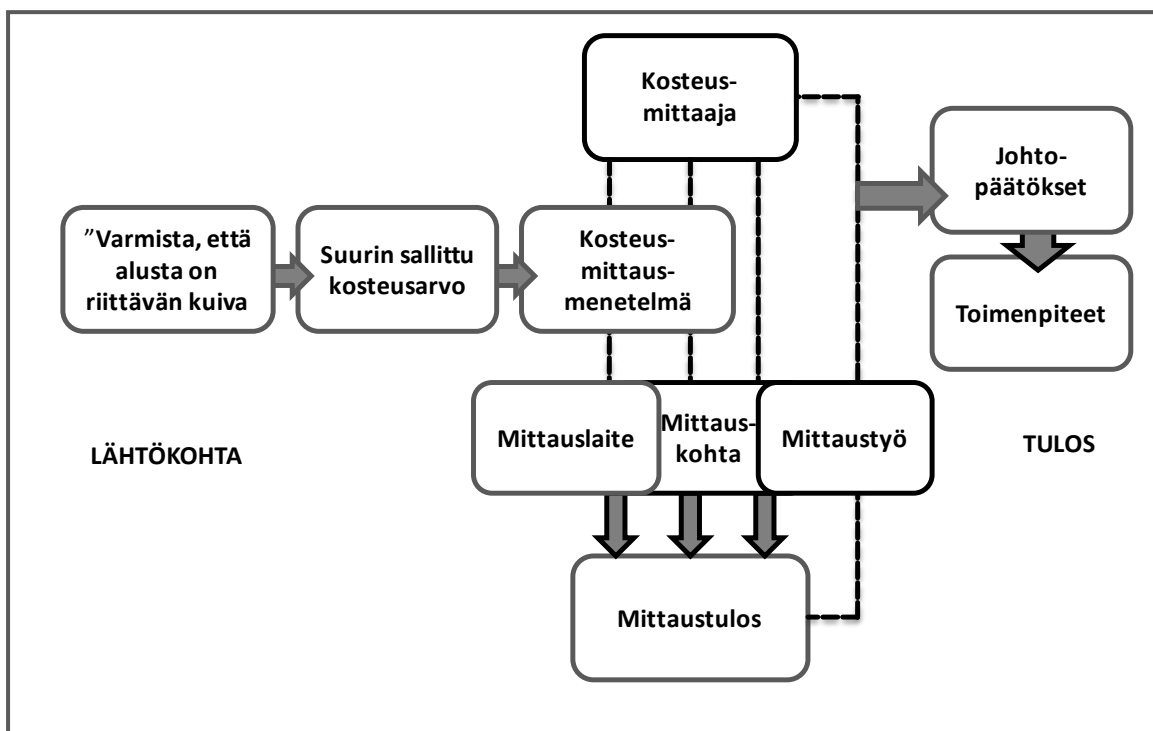
3 BETONILATTIAN RIITTÄVÄN KUIVUMISEN MÄÄRITYSPROSESSI

Rakennustyömaa-aikaisella kosteudenhallintatyöllä pyritään vaikuttamaan muun muassa siihen, että betonilattiarakenne kuivuu tavoitekosteustilaan suunnitellun aikataulun mukaisesti ilman odottamattomia lisäkustannuksia. Työmaalle laadittavan kosteudenhallintasuunnitelman yhtenä osa-alueena on rakenteen vaatiman kuivumisajan arviointi sekä kuivumistavoitteen saavuttamiseksi vaadittavien toimenpiteiden määrittäminen. Tällaisia toimenpiteitä ovat muun muassa nopeammin kuivuvan betonin valinta, rakenteen työmaa-aikainen suojaus kastumiselta sekä hyvien kuivumisolosuhteiden luominen (Merikallio 1998). Yhtenä merkittävänä osana työmaa-aikaiseen kosteudenhallintatyöhön (kuva 15) kuuluu varmistuminen siitä, että rakenne täyttää sille asetetut kuivumistavoitteet eli että rakenne on riittävän kuiva seuraavia työvaiheita ajatellen.



Kuva 15. Rakennustyömaan kosteudenhallintatyöllä pyritään vaikuttamaan muun muassa siihen, että betonilattia kuivuu suunnitellussa aikataulussa. Betonilattian riittävän kuivumisen määrittäminen on yksi merkittävä osa rakennustyömaan kosteudenhallintaa.

Tässä tutkimuksessa paneudutaan tarkastelemaan tuota *riittävän kuivumisen määrittämisprosessia* (kuva 16). Prosessin lähtökohtana on varmistaa, että betonialusta on riittävän kuiva ennen lattiaanpäällystystyöhön ryhtymistä. Aluksi on siis syytä selvittää, mitä riittävällä kuivumisella tarkoitetaan rakentamista ohjaavissa määräyksissä ja ohjeissa. Yleensä vaadittava kuivumistaso ilmoitetaan betonilattiarakenteen suurimpana sallittuna kosteutena. Tässä tutkimuksessa selvitetään, millaisia ohjeita ja määräyksiä betonilattiarakenteen riittävän kuivumisen määrittämiseksi on olemassa (luvut 4.1 ja 4.2), millaisia kosteusraja-arvoja päällystettäville betonilattioille on esitetty (luku 4.4) ja mihin nämä raja-arvot perustuvat (luku 4.5) sekä miten nämä raja-arvot vaikuttavat rakenteelta vaadittavaan kuivumisaikaan (luku 4.7).



Kuva 16. Betonilattian riittävän kuivumisen määrittämisprosessi, jossa lähtökohtana on varmistaa, että betonilattia on riittävän kuiva ennen lattiaanpäällystystyöhön ryhtymistä.

Riittävän kuivumisen määrittämisprosessin toisena vaiheena on valita testausmenetelmä, jolla selvitetään onko vaadittava kuivumistaso, ”riittävä kuivuminen”, saavutettu (luku 5.1). Suomessa käytettäviä menetelmiä ovat muun muassa betonin kosteusmittaus, niin sanottu muovikalvotesti sekä laskennallinen arvio perustuen rakenteen kuivattamiseen käytetyn ajanjakson pituuteen ja kuivumisolosuhteisiin. Nykyisin riittävä kuivuminen edellytetään määritettävän pääsääntöisesti kosteusmittauksella, joka myös tässä tutkimuksessa on otettu tarkemman tarkastelun kohteeksi. Tarkasteltavan prosessin toisen vaiheen kohdalla selvitetään yleisimpien kosteusmittausmenetelmien toimintaperiaatteet sekä miten eri menetelmät vaikuttavat betonilattian vaadittavan kuivumisajan pituuteen (luku 5.2).

Prosessin kolmantena vaiheena on kosteusmittaus ja sen luotettavuus. Mittauksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa mittauslaite, mittaustyö sekä itse mittaaja. Tarkastelu rajataan betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen porareiästä, koska se on yleisin Suomessa käytetty menetelmä betonilattian kosteustilan määrittämiseen. Aluksi selvitetään mittauslaitteiden ominaisuuksien kuten tarkkuuden ja vaadittavan tasaantumisaajan vaikutusta mittaustulokseen (luvut 6.2 ja 6.3). Mittaustyön suorittamiseen liittyvistä tekijöistä tarkemman tarkastelun kohteeksi otetaan mittauskohdan valinta (luku 6.4), mittausreiän valmistelu (luku 6.5) sekä lämpötilan vaikutus (luku 6.6). Lopuksi selvitetään, miten mittaukseen liittyvät epävarmuudet on käytännön mittauksissa otettu huomioon ja dokumentoitu (luku 6.7) sekä millaiset edellytykset mittauksilla ylipäättään on suorittaa vaadittavat mittaukset mittaustarkkuustarkasteluineen ja siten tulkita mittaustuloksia luotettavasti (6.8)

4 BETONILATTIAN KOSTEUTEEN LIITTYVÄT MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

4.1 MAANKÄYTTÖ- JA RAKENNUSLAKI

Rakennushanketta toteuttaessaan urakoitsija on velvollinen huolehtimaan lakien, asetusten, ministeriöiden päätösten sekä muiden viranomaismääräysten noudattamisesta. Suomessa vuonna 1999 voimaan tulleen *maankäyttö- ja rakennuslain* (MRL N:o 132/1999) 117 § edellyttää seuraavasti:

Rakennuksen tulee sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla täyttää rakenteiden lujuuden ja vakauden, paloturvallisuuden, hygienian, terveyden ja ympäristön, käyttöturvallisuuden, meluntorjunnan sekä energiatalouden ja lämmöneristyksen perusvaatimukset (olennaiset tekniset vaatimukset).

Suomen rakentamismääräyskokoelma sisältää maankäyttö- ja rakennuslakia täydentäviä määräyksiä ja ohjeita. Määräykset ovat velvoittavia. Ohjeet sen sijaan eivät ole vetoittavia, vaan muitakin kuin niissä esitettyjä ratkaisuja voidaan käyttää, jos ne täyttävät rakentamiselle asetetut vaatimukset (MRL 13§). Rakentamismääräyskokoelman osan C2 *Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998* kohdassa 1.2.1 on olennainen vaatimus:

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei siitä aiheudu sen käyttäjille tai naapureille hygieni- tai terveysriskiä kosteuden kertymisestä rakennuksen osiin tai sisäpuolelle.

Kohdassa 1.4.10 on määräys:

Kosteiden rakenteiden ja rakennekosteuden on annettava kuivua tai rakenteita on kuivatettava riittävästi, ennen kuin ne peitetään kuivumista hidas- tavalla ainekerroksella tai pinnoitteella.

Maankäyttö- ja rakennuslain 150 §:n 3 momentti edellyttää, että rakennustyömaalla pidetään rakennustyömaan tarkastusasiakirjaa, mihin tehdään merkinnät katselmuksista, viranomaisten toimittamista tarkastuksista sekä yksityisten vastattaviksi määräytyistä työn suoritusten tarkastuksista. Rakentamismääräyskokoelman osan A1 *Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus, määräykset ja ohjeet 2006* kohdan 7.1.2 määräysten mukaan

Tarkastusasiakirjoihin kuuluu mm. rakennustyöaikaisen kosteuden haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja rakennuksen kuivatuksen varmistaminen.

Maankäyttö- ja rakennuslain 148 §:n mukaan rakennustyö on suoritettava siten, että se täyttää lain ja sen nojalla annettujen säännösten ja määräysten sekä hyvän rakennustavan vaatimukset.

4.2 TERVEYDENSUOJELULAKI

Terveydensuojelulain (N:o 763/1994) pykälä 26 § määrää seuraavasti:

Asunnon ja muun sisätilan sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, valon, säteilyn ja muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätiloissa oleskeleville terveyshaittaa.

Mikäli asunnossa esiintyy esimerkiksi liiallista kosteutta, joka voi aiheuttaa terveyshaittaa, terveydensuojelulain 27 §:n mukaan

Kunnan terveydensuojeluviranomainen voi velvoittaa sen, jonka menettely tai toimenpide on syynä tällaiseen epäkohtaan, ryhtymään toimenpiteisiin terveyshaitan poistamiseksi tai rajoittamiseksi.

Terveydensuojelulakiin vedoten jo pelkkä epäily siitä, että betonin kosteus voi aiheuttaa terveyshaittaa, voi siis johtaa esimerkiksi päällystemateriaalin poistamiseen ja rakenteen kuivattamiseen.

Terveydensuojelulain 32 §:n nojalla sosiaali- ja terveysministeriö voi antaa terveydellisiin perustein ohjeita fysikaalisista, kemiallisista ja biologisista tekijöistä asunnossa tai muussa oleskeluun tarkoitettussa tilassa. Tällaisia ohjeita on muun muassa sosiaali- ja terveysministeriön *Asumisterveysohjeessa* (2003). Kunnan terveydensuojeluviranomainen voi käyttää ohjetta apuna asunnon tarkastuksissa, mutta ohjeen mukaan se soveltuu myös rakennusten korjaajien, rakentajien ja kuntotutkijoiden käyttöön. (Asumisterveysohje 2003, s. 11).

Vuonna 2005 julkaistiin sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas, *Asumisterveysopas*, jossa käsitellään asuntojen ja soveltuvien osien muiden oleskelutilojen terveydellisten olosuhteiden tutkimiseen käytettäviä mittausten menetelmiä, tulosten tulkintaa ja annetaan ohjeita asuntotarkastuksen tekemiseen. Betonilattioiden kosteudenmittausta Asumisterveysoppaassa (2005, s. 48) on käsitelty varsin suppeasti. Betonin kosteudesta on kirjoitettu seuraavasti:

Betonin kosteutta voidaan luotettavasti mitata vain suhteellisena kosteutena. Tuloksen luotettavuutta voi heikentää se, että mittauskohdassa ei ole saavutettu kosteustasapainoa mittausajan puitteissa. Jos mitattu ilman suhteellisen kosteus rakenteessa mittausolosuhteessa on yli 85 % ja se on selvästi samanaikaisesti mitattua huoneilman suhteellista kosteutta suurempi, rakenteen kosteuden syyt on selvitettävä muilla menetelmillä. Betonikeskus ry on julkaissut opaskirjan Betonirakenteiden kosteusmittaus ja

kuivumisen arviointi. Kirja ei ole virallinen ohje. Betonin suhteellisen kosteuden mittaustulokset on aina esitettävä mittauspöytäkirjassa.

Asumisterveysoppaassa (2005, s. 49) mainitaan lisäksi seuraavasti:

Rakenteiden kosteuden arvioimiseksi ei ole standardeja tai vakiintuneita ohjeita. Arviointi perustuu tutkijan taitoon, kokemukseen ja kykyyn ymmärtää kosteuden käyttäytymistä. Tärkeää on, että arviointi olisi mahdollisimman luotettava. Luotettavuus ei kuitenkaan tarkoita täydellistä virheettömyyttä. Luotettavuus on kyky esittää tulosten epävarmuus, ”epätarkkuus” sekä sen syyt. Mittauspöytäkirjassa tulokset esitetään numeroina epävarmuuksineen. Epävarmuus sisältää muun muassa mittalaitteesta, kalibroinnista ja mittaajasta peräisin olevat epävarmuudet.

Terveydensuojeluviranomainen voi päättää, että viranomainen tekee itse terveyshaitan selvittämiseksi tarvittavat tutkimukset tai että ne teetetään ulkopuolisella asiantuntijalla (Asumisterveysopas 2005, s. 13). Terveydensuojelulain 49§:n mukaan asiantuntijalla on oltava riittävä asiantuntemus ja pätevyys. Lisäksi asiantuntijan on osoitettava kunnan terveydensuojeluviranomaiselle käyttämiensä tutkimusmenetelmien luotettavuus (Asumisterveysopas 2005, s. 15). Oppaan mukaan päteviä henkilöitä ovat mm. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) standardin EN 45013 tai EN 17027 mukaisesti sertifioimat rakennusterveysasiantuntijat, rakenteiden kosteusmittaajat ja lämpökuvaajat. Rakenteiden kosteudenmittaajista terveydensuojelulain vaatimukset täyttäviä ovat myös Vakuutusyhtiöiden Keskusliiton (nykyisin Finanssialan Keskusliitto) hyväksymät, päteytyneet kosteusmittaajat (Asumisterveysopas 2005, s. 16).

4.3 HYVÄN RAKENNUSTAVAN MUKAISET VAATIMUKSET

Maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää, että rakentamisessa noudatetaan hyvää rakennustapaa. Hyvälle rakennustavalle ei löydy selkeää määritelmää, mutta sen perustana voidaan pitää voimassa olevia lakeja ja Suomen rakentamismääräyskokoelmaa (Pirinen 1999, s. 28). Hyvän rakennustavan sisältö on määrittelijästä riippuva ja vaihtelee myös paikkakunnan ja ajankohdan mukaan. Rakentamiseen käytettävät tarvikkeet, saatavilla oleva työvoima, työmenetelmät ja rakennushankkeen laji vaikuttavat sen sisältöön (SisäRYL 2000, s. 17).

Rakennusurakan yleisissä sopimusehdoissa YSE (1988) hyvä rakennustapa liitetään huolelliseen ja ammattitaitoiseen suunnitteluun ja rakentamiseen. YSE (1998) sisältää rakennusalan yhteisesti sovitut ehdot rakennusurakkaan liittyvien sopimusten solmimisesta. Nämä sopimusehdot auttavat rakennushankkeeseen ryhtyvää tarjouspyyntöjen ja sopimusten laatimisessa. Yleiset sopimusehdot määrittävät myös takuuaajan ja siihen liittyvät korjaus- ja muut vastuut.

Rakennusurakoissa edellytetään yleensä tehtäväksi kirjallinen urakkasopimus, johon liitetään YSE sekä muita asiakirjoja kuten esimerkiksi tarjouspyyntö, kirjalliset lisäselvitykset, urakkaohjelma, tarjous, urakkasopimusneuvottelun pöytäkirja sekä rakennus-

ja erikoistyytelostukset. Rakennusurakoitsija on velvollinen toteuttamaan rakennussuorituksensa urakkasopimuksessa lueteltujen teknisten asiakirjojen mukaisesti.

Tekniset asiakirjat kuten kohdetta kuvaavat piirustukset ja työselostukset kuvaavat, mitä rakennetaan ja miten. Työkohtaiset laatuvaatimukset ja työselostukset ovat suunnittelijan laatimia teknisiä asiakirjoja, joissa ensisijaisesti määrätään sekä työn lopputuloksen että käytettävien rakennusaineiden ja tarvikkeiden laatu. Työmenetelmistä annetut ohjeet ovat useimmiten ohjeellisia (Kankainen et al. 1999, s. 5).

Ellei urakkasopimuksessa ole muuta mainittu, urakka-asiakirjojen sisällön ollessa ristiriitainen teknisten asiakirjojen pätevyysjärjestys on YSE:n (YSE 1998, s. 6) mukaan seuraava:

1. työkohtaiset laatuvaatimukset ja selostukset
2. sopimuspiirustukset
3. yleiset laatuvaatimukset ja työselostukset

Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset RYL on rakennusalalla yleisesti hyväksytty hyvän rakennustavan kuvaus. RYL:ssä hyvällä rakennustavalla tarkoitetaan nimenomaan hyvää ja kunnollista työntulosta eli lopputuotteen laatua (SisäRYL 2000, s. 18). RYL on laadittu helpottamaan hankekohtaisten asiakirjojen laadintaa, jotta hankkeesta toiseen samanlaisina siirtyviä laatuvaatimuksia ei tarvitsisi joka kerran toistaa (SisäRYL 2000, s.18). RYL:n lisäksi myös muiden alan julkaisujen ohjeiden mukaisesti toimien voidaan noudattaa hyvää rakennustapaa. Pirisen (1999) mukaan Rakentamismääräyskoelman ohjeiden ja RYL:n ohjeiden lisäksi hyvän rakennustavan mukaisia ohjeita ovat muun muassa Rakennustietosäätiön RT -kortiston ohjeistus, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n ohjeet ja RYL:iin perustuvat Rakennustöiden laatu-kirjat sekä rakennusalan eri järjestöjen, kuten esimerkiksi Suomen Betoniyhdistys ry:n (by) ohjekäysut. Lisäksi tärkeinä ohjeina hyvän rakentamistavan mukaiseen rakentamiseen pidetään Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen VTT:n julkaisuja ja Rakentajain kalenteria. Eräänlaisena ”neljännen luokan” hyvänä rakennustapana voidaan pitää rakennustapaa, joka noudattaa rakennustarvikevalmistajien julkaisemia ohjeita, rakenneratkaisuja ja kirjoja. (Pirinen 1999, s. 16–28).

Betonilattioita päällystettäessä hyvän rakennustavan mukaisesti toimivan rakentajan tulee huolehtia, että betonirakenne on riittävän kuiva ennen kuin se peitetään kuivumista hidastavalla ainekerroksella (päällyste- tai pinnoitemateriaaleilla). Mitä riittävän kuiva tässä tapauksessa tarkoittaa, ei ole laissa tai rakentamismääräyskokoelmassa yksiselitteisesti määritelty. Lähtökohtaisesti selkeimmässä tapauksessa betonilattioiden päällystämishetken suurimmat sallitut kosteusarvot on ilmoitettu päällystemateriaalikohtaisesti urakkasopimukseen liittyvässä työselostuksessa. Useissa tapauksissa työselostuksessa on maininta, että päällystystyön osalta noudatetaan jonkun tietyn julkaisun ohjeita (esimerkiksi SisäRYL 2000 tai by45/BLY 7 *Betonilattiat* 2002). Ensisijaisesti urakoitsijan tulee kuitenkin noudattaa materiaalivalmistajan antamia ohjeita, jotta tuotteen takuu pysyy voimassa. Mikäli materiaalivalmistajan ohjeissa tai työselostuksessa ei ole mitään mainintaa liittyen alustabetonin kosteuteen, urakoitsijan tulee noudattaa muita hyvän rakentamistavan mukaisia menettelytapoja. YSE:n (1998) 15 §:n määräys on seuraavainen:

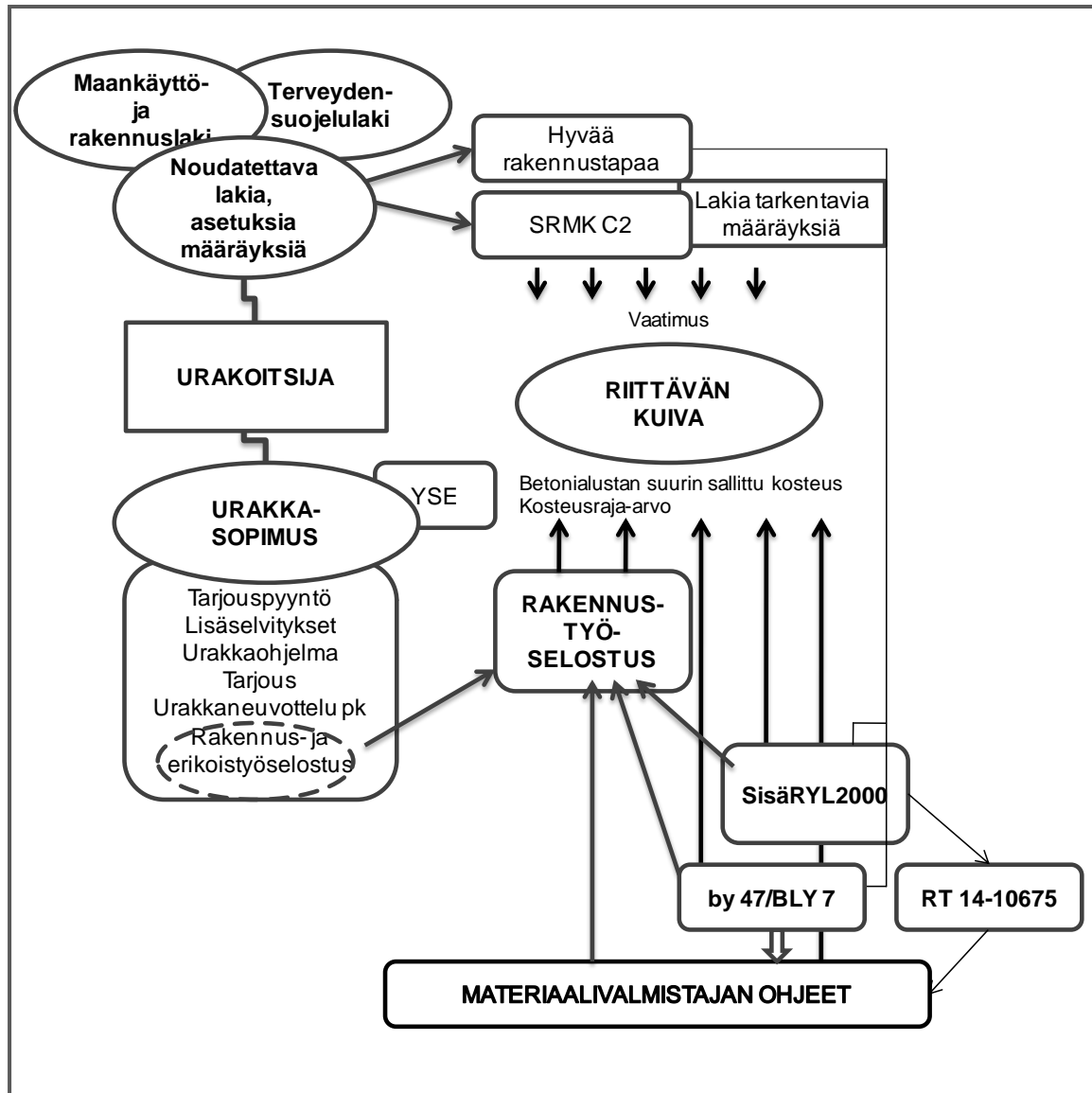
Jos sopimussaisakirjoissa ei ole mainintaa rakennustyölle tai sen osalle asetettavista vaatimuksista, urakoitsijan on noudatettava sopimusasiakirjojen samanlaisista tai rinnastuskelpoisista suorituksista antamia määräyksiä tai näiden puuttuessa vastaavanlaisissa rakennustöissä yleensä noudatettavaa menettelyä hyvän ja kunnollisen lopputuloksen aikaansaamiseksi.

Useimmat lattianpäällystemateriaalien valmistajat ilmoittavat tuotteensa asennusohjeissa alustabetonin kosteuden enimmäisarvon. Jotkut taas viittaavat edellä mainittuun SisäRYL 2000 julkaisuun tai Suomen Betoniyhdistyksen (by) julkaisuihin. Materiaalivalmistajat ilmoittavat usein ohjeissaan, ettei tuotteen takuu ole voimassa, mikäli heidän ilmoittamat ohjearvot ylittyvät. Koska lattianpäällystemateriaalit kuuluvat muiden rakennusmateriaalien tavoin tuotevastuulain piiriin, on ilmeistä, että ohjearvot halutaan pitää mahdollisimman alhaisina. Näin voidaan esimerkiksi vähentää materiaaliemissioiden aiheuttamien terveyshaittojen korvauskustannuksia. Tutkija on esimerkiksi käytännön työssään kohdannut tapauksia, joissa asunnossa ilmenneen sisäilmaongelman syyksi on määrätty betonilattian kosteus rakenteesta mitatun ohjearvoja korkeamman kosteusarvon takia, vaikka oli ilmeistä, että ongelma johtui muista tekijöistä. Takuuajan vikojen ja virheiden vastuukysymysten ratkaiseminen muodostuukin usein hankalaksi urakoitsijoiden ja materiaalivalmistajien pyrkimässä vierittämään vastuuta toisilleen.

YSE:n mukaan urakoitsija vastaa takuuajan jälkeen ainoastaan törkeästä tuottamuksesta taikka täyttämättä jääneestä suorituksesta johtuneesta virheestä ja puutteesta, joita ei ole voitu havaita vastaanottotarkastuksessa eikä takuuajana. Rakennuttajalla on todistustaakka siitä, että (Liuksiala 1999, s. 99)

- vika tai puute johtuu urakoitsijan työsuorituksesta
- vika tai puute on seurausta urakoitsijan törkeästä tuottamuksesta tai täyttämättä jääneestä suorituksesta
- rakennuttaja ei ole kohtuudella voinut havaita vikaa vastaanottotarkastuksessa tai takuuajana.

Monet betonilattioissa ilmenevät vauriot paljastuvat vasta takuuajan jälkeen. Vaurion syyn ja vastuukysymysten ratkaisemiseksi esiin kaivetaan usein urakka-asiakirjat sekä työmaa-aikaiset pöytäkirjat ja dokumentit. Mikäli urakoitsijalla ei ole esimerkiksi dokumentteja työmaa-aikaisista kosteusmittauksista, häntä voidaan syyttää jopa törkeällä laiminlyönnillä aiheutetusta virheestä sekä määrätä maksamaan vahingosta johtuvat kustannukset. Kosteusmittausten puutteellinen dokumentointi, ohjeiden vastaisesti tehty mittaus tai mittauspöytäkirjassa olevat sallittua korkeammat kosteusarvot voivat johtaa siihen, että betonilattiarakenteen vaurion syyksi tuomitaan liiallinen kosteus rakennusaikana, vaikka näin ei todellisuudessa olisikaan.



Kuva 17. Laki edellyttää muun muassa, että rakennushanketta toteuttaessaan urakoitsija noudattaa hyvää rakennustapaa ja Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksiä. Yhtenä määräyksenä on, että betonilattioiden on oltava riittävän kuivia ennen kuin ne peitetään kuivumista hidastavalla ainekerroksella. Riittävän kuivumistason määrittävä betonilattian päällystämishetken suurin sallittu kosteus voidaan ilmoittaa esimerkiksi rakennustyöselostuksessa. Mikäli näin ei ole, kosteusraja-arvona käytetään yleensä alan yleisten julkaisujen ohjearvoja. Ensisijaisesti urakoitsijan tulee noudattaa materiaalivalmistajan ohjeita varmistaakseen tuotteen taakuun voimassaolon. Materiaalivalmistajien ohjeissa voidaan puolestaan viitata alan yleisiin ohjeisiin tai niissä ei ole mitään mainittua kosteudesta. Mikäli materiaalivalmistajan ohjeissa tai työselostuksessa kosteusraja-arvoa ei ole ilmoitettu, lähteenä tulee käyttää hyvän rakentamistavan mukaisia ohjeita.

4.4 BETONILATTIAN SUURIN SALLITTU KOSTEUS

4.4.1 ENNEN PÄÄLLYSTÄMISTÄ

Betonilattian riittävän kuivumisen määrittämiseksi on olemassa erilaisia ohjeita ja käytäntöjä. Monissa ohjeissa ilmoitetaan betonilattian päällystämishetken suurin sallittu kosteus. Päällystystyön aloituksen edellytyksenä olevia betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja löytyy muun muassa seuraavista julkaisuista: *Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset SisäRYL 2000 Talonrakennuksen sisätyöt*, Suomen Betoniyhdistys ry:n julkaisuista *by45/BLY7 Betonilattiat 2002* ja *by47 Rakentamisen laatuohjeet 2007* sekä Betonikeskus ry:n julkaisuista *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen* (2007) sekä *Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet* (2007).

Erityisesti riitatapausten mutta myös työmaa-aikaisen kuivattamisen kannalta on ongelmallista, että edellä mainittujen julkaisujen kosteusraja-arvoissa on eroja (taulukko 1). Esimerkiksi *Betonilattiat 2002* julkaisussa alustabetonin suurin sallittu kosteusarvo on kelluvan lautaparketin osalta korkeampi kuin *SisäRYL 2000* julkaisussa. *Betonilattiat 2002* (by45/BLY7 2002, s. 132) mukaan betonin suurin sallittu suhteellinen kosteus kelluvalla lautaparketilla päällystettäessä on 85 % ja jopa 90 %, jos puun ja betonin välissä olevan kosteuseristyksen alla on kosteudenpoistokanavointi. *SisäRYL 2000* edellyttää puolestaan 80 %:n ja jopa 60 %:n suhteellista kosteutta, jos puun ja betonin välissä ei ole kosteudeneristystä (*SisäRYL 2000*, s. 332). *Betonirakentamisen laatuohjeet 2007* (by47 2007, s. 87) julkaisussa kelluvan lautaparketin edellyttämä alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvo on 85 %, mutta kosteutta kestävää tasoitetta käytettäessä tai ilman tasoitetta sallitaan myös 90 %. Myös muovi- ja linoleumipäällysteiden kosteusraja-arvoissa on eroja. Esimerkiksi ilman huopa- tai solumuovipohjaa olevalla homogeenisella, yleensä hyvin tiiviillä, muovimatolla ja linoleumilla kosteusraja-arvon on *SisäRYL 2000*:n (*SisäRYL2000*, s.318) ja *by45/BLY7*:n (*by45/BLY7 2002*, s. 132) mukaan 90 %, mutta *by47*:n mukaan 85 % (*by47 2007*, s. 89). Sinänsä varsin erikoista, että tiiviillä muovimatolla päällystettäessä sallitaan korkein kosteus, vaikka juuri niiden yhteydessä riski kosteuden kerääntymisestä päällysteen alapuoliseen liima- ja tasoiterrokseen on suurin. Vaurioitumisriski on ilmeinen erityisesti maanvaraisissa lattioissa, joissa kosteusvirta on maaperästä huonetilaan päin.

SisäRYL 2000 -julkaisun ohjeen mukaan (*SisäRYL2000*, s. 332) betonialustan kosteus mitataan suhteellisenä kosteutena Rakennustietosäätiön julkaiseman ohjekortin RT 14–10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen* mukaisesti. Ohjekortissa on kuitenkin maininta:

Alustan kosteuden enimmäisarvoissa sovelletaan ensisijaisesti päällysteen, verhoustarvikkeen tai maalin valmistajan ohjetta kyseille tarvikkeille.

Taulukko 1. Eri julkaisuissa ilmoitettuja päällystemateriaalikohtaisia alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja.

Alustabetonin suhteellisen kosteuden RH (%) enimmäisarvot päällystyshetkellä				
Päällystemateriaali	SisäRYL 2000	by45/BLY7 Betonilattiat 2002	by 47 Betoniraken- tamisen laatuohjeet 2007 ¹⁾	Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet (2007) ^{1) 2)}
Alustaan liimattava lautaparketti (ilman puun ja betonin välistä kosteudeneristystä)	60 %	85 %	-	85 % (normaalibe- toni) 90 % (v/s < 0,5)
Mosaiikkiparketti	80 %	80 % (pinta < 75 %)	85 % 90 % (v/s < 0,5)	85 % 90 % (v/s < 0,5)
Kelluva lautaparketti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	90 %	85 % 90 % (kost. kestävä tasoite tai ei tasoitetta)	85 %
Laminaatti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	-	85 %	85 %
Huopa ja solumuovipoh- jaiset muovimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Muovimatot ilman huopa- tai solumuovipohjaa	90 %	90 %	85 %	85 %
Kumimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Linoleumi	90 %	90 %	85 %	85 %
Tekstiilimatot, joissa alusrakenne	85 %	85 %	85 %	85 %
Täyssynteettiset tekstii- limatot ilman alusraken- netta	90 %	90 %	90 %	90 %
Muovilaatat	90 %	90 %	90 %	90 %

1) Kaikkien materiaalien kohdalla edellytetään lisäksi, että betonin suhteellinen kosteus rakenteen pinta-
osissa 1-3 cm:n syvyydellä on alle 75 %.

2) Julkaisussa *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen* (2007) on samat arvot.

Myös by45/BLY7 Betonilattia 2002 julkaisussa (kohdassa 4.3.1.3) on maininta:

Kosteusraja-arvot ovat yleisluontoisia kyseisille materiaaleille määritettyjä arvoja. Tulee kuitenkin muistaa, että erilaisten liima- ja päällystemateriaalien kosteudensietokyvyissä voi olla suuria tuotekohtaisia eroja. Siksi on ensisijaisesti noudatettava materiaalivalmistajien kyseisille tuotteille antamia kosteusraja-arvoja.

Ellei sopimusasiakirjoissa toisin mainita lattianpäällystystyössä tulee ensisijaisesti noudattaa päällystemateriaalivalmistajan ohjeita, jotta tuotteen takuu pysyy voimassa. Rakennustyöselostuksessa saatetaan myös suoraan mainita, että lattianpäällyste kiinnitetäväksi alustaan nimenomaan materiaalivalmistajan ohjeen mukaan.

Monet Suomessa käytettävät lattianpäällysteet valmistetaan ulkomailla ja näin ollen myös asennusohjeet kosteusraja-arvoineen voivat olla valmistusmaan käytännön mukaisia. Jotkut lattianpäällystemateriaalien maahantuojaat julkaisevat omia maakohtaisia asennusohjeita, jossa kunkin maan käytännöt on pyritty ottamaan huomioon. Marraskuussa 2007 eri lattianpäällystemateriaalien valmistajien ja toimittajien Internet-kotisivuilta julkaistuissa puupohjaisten lattiapäällysteiden (mosaiikkiparketti, kelluva lautaparketti, laminaatti) asennusohjeissa liittyen betonin kosteuteen oli huomattavia eroja sekä saman maan sisällä että maiden välillä (taulukko 2). Esimerkiksi kelluvan lautaparketin edellyttämät suhteellisen kosteuden (RH) enimmäisarvot suomalaisissa ohjeissa olivat välillä 80 - 95 % riippuen materiaalivalmistajasta. Alan yleisissä julkaisuissa vaatimukset vaihtelevat välillä 80 - 90 % (taulukko 1). Merkittäviä erot olivat myös laminaatin ja alustaan liimattavan mosaiikkiparketin kohdalla. Mosaiikkiparkettia asennettaessa alustabetonin suurimmat sallitut suhteellisen kosteuden arvot vaihtelivat välillä 60 - 90 % ja laminaattia asennettaessa välillä 60 - 95 %. Varsin mielenkiintoista on esimerkiksi se, että Tarkett Oy ilmoittaa suomalaisissa asennusohjeissa kelluvan lautaparketin ja laminaatin suhteellisen kosteuden raja-arvoksi 80 %, mutta ruotsalaisissa ohjeissa vastaava arvo on 95 %. Berg&Berg Oy:n lautaparkettia tai Pergon laminaattia asennettaessa kosteusraja-arvo on Saksassa molemmilla tuotteilla 2 painoprosenttia (p-%), mutta Suomessa Pergo edellyttää 75 % suhteellista kosteutta, kun Berg & Berg:n tuotteelle riittää kuivuminen 95 % suhteelliseen kosteuteen. Maxit Oy:n ja Karelia-Upofloor Oy:n ohjeiden mukaan betonin kosteus saa olla enimmillään 60 %, jos mitataan suhteellista kosteutta (RH), mutta jos mitataankin painoprosentti kosteutta (p-%) raja-arvo on Karelia-Upofloor Oy:n ohjeessa 1,5 p-% ja maxit Oy:n ohjeessa 3 p-% (taulukko 2).

Taulukko 2. Lattianpäällystevalmistajien ja -toimittajien alustabetonille asettamia päällystämateriaalikohtaisia kosteusraja-arvoja (www-sivut luettu marraskuussa 2007)

Valmistaja	Päällyste-materiaali	Alustabetonin kosteuden enimmäisarvo				
		Suomi	Ruotsi	U.K.	Saksa	USA
Karelia-Upofloor Oy <i>www.kareliaparketti.fi</i>	Mosaiikki-parketti	60 %RH 1,5 p-%	60 %RH 1,5 p-%	60 %RH 1,5 p-%	60 %RH 1,5 p-%	60 %RH 1,5 p-%
	Kelluva lauta-parketti ¹⁾	80 %RH 3 p-%	80 %RH 3 p-%	80 %RH 3 p-%	80 %RH 3 p-%	80 %RH 3 p-%
	Laminaatti ¹⁾	80 %RH 3 p-%	-	-	-	-
Tarkett <i>www.tarkett.com</i>	Kelluva lauta-parketti ¹⁾	80 % RH	95 % RH	kuiva	ei mainittu	3 MVER Tramex max 4,5
	Laminaatti ¹⁾	80 % RH	95 % RH	ei mainittu	ei mainittu	3 MVER
Berg& Berg <i>www.karitma.fi</i>	Kelluva lauta-parketti ¹⁾	95 % RH	95 % RH	2 p-%	2 p-%	-
Kährs Wood Flooring <i>www.kahrs.com</i>	Kelluva lauta-parketti ¹⁾	95 % RH	95 % RH	ei mainittu	kuiva	8 MVER
	Mosaiikki-parketti	65 % RH	65 % RH	ei mainittu	kuiva	3 MVER
Kronotex <i>www.krono.com</i>	Laminaatti ¹⁾	80 % RH 2 p-%	-	-	-	5 MVER
Pergo <i>www.europe.pergo.com</i>	Laminaatti ¹⁾	75 % RH	75 % RH	75 % RH	2 p-%	4,5 p-% 5 MVER
Orient- Occident <i>www.orientoccident.fi</i>	Laminaatti ¹⁾	80 % RH	-	-	-	-
maxit <i>www.maxit.fi</i>	Laminaatti ¹⁾	60 % RH	-	-	-	-
	Parketti	60 % RH 3 p-%	-	-	-	-

¹⁾ + kosteussulku betonin ja puun välissä

RH = suhteellinen kosteus

p-% = kosteuspitoisuus painoprosenteina

MVER = Moisture Vapor Emission Rate, kosteusvirta [lbs/1,000 ft²/24 h]

4.4.2 VALMIISSA RAKENNUKSESSA

Betonin kosteusmittaus ja sallitut kosteusarvot ovat merkittävässä roolissa myös kosteusvaurioselvityksissä. Kosteusmittausta käytetään esimerkiksi vaurion syyn, laajuuden ja kuivatustarpeen määrittämiseen. Monissa kosteusvaurioselvityksissä kosteusmittaus-tuloksen perusteella tehdyt johtopäätökset perustuvat päällystemateriaalivalmistajien ilmoittamiin tai esimerkiksi SisäRYL 2000 julkaisussa oleviin päällystemateriaalikoh-taisiin raja-arvoihin. Joillakin kosteusmittauksia tekevillä yrityksillä kuten esimerkiksi kuivatusliikkeillä on omat käytäntönsä, joihin he perustavat kosteusmittaustulosten tul-kinnan. Yleensä nämä tulkintaosuudet ja niissä määritetyt suurimmat sallitut kosteusar-vot toistuvat raportista toiseen samanlaisina ottamatta huomioon esimerkiksi, millainen rakenne on kyseessä. Seuraavassa on lyhyt ote kosteusmittauksia ja rakennekuivatuksia tekevien eri yritysten Vakuutusyhtiö Tapiolalle vuosina 2005 - 2007 tekemien kosteus-mittausraporttien (lähdeviitteinä Vakuutusyhtiö Tapiolan antama mittausraportin nume-ro) mittaustulosten yleisistä tulkintaosuuksista:

- *Sall.max RH 75 % Vaisala HMP41 kosteusmittari, Gann Uni 2 Kosteudenilmaisija asteikko 0-199 sall. <90 betoni. (lähde: Raportti 360-0653827)*
- *Eristetilan suhteellisen kosteuden tulisi pääsääntöisesti noudattaa seuraavia raja-arvoja (lämpötilan ollessa 20 °C ± 5 °C):*
 - *RH alle 60 %, eristetila kuiva*
 - *RH 60 % - 75 %, eristetilassa kosteus koholla, selvittettävä voiko ol-la rakennuksen normaalitila*
 - *RH yli 75 %, eristetila kostea/märkä, vaatii korjaustoimenpiteitä**(lähde: Raportti 360-0610011-1)*
- *Sall.max. RH 75 % ±5 (eristetila), Vaisala HMP 46 -anturi / HMI 41 Sall.max. RH 80 % ±5 (betoni), lämpötilassa + 20 °C. (lähde: Raportti 360-0569031)*
- *Vaisala HMP41 HMP42, HMI41 Sall.max 75 %RH ±5 %RH/20 °C (ns.vanha betoni) ja 70 %RH±5%RH/20 °C (eristetila). Gann RTU-600 Mittapää: B50. Mittausalue 0-199, <80 normaali kosteus, > 90 kohonnut kosteus (esim.betoni). (lähde: Raportti 360-0579472)*
- *Vaisala HMP42 – anturi/HMI 41, Sall.max RH 75 % ±5 (eristetila) Sall.max RH 80 % ±5 (betoni). Lämpötilassa + 20 °C. (lähde: Raportti 360-0610227)*
- *Rakenteessa on mikrobivaurioriski, mikäli suhteellinen kosteus on yli 75 %. (lähde: Raportti 360-0610489-E)*
- *Suurin sallittu kosteus kastuneen betonin uudelleen pinnoittamiseksi on RH 80 %/20 °C. SisäRYL2000:n tai päällystetaulukon mukaan (lähde: Raportti 15613)*
- *Sall.max. RH 75 % ±5 (eristetila). Vaisala HMP 42 -anturi / HMI 41 Sall.max. RH 80 % ±5 (betoni) lämpötilassa + 20 °C. (lähde: Raportti 360-0611188)*
- *Sallittu betonin kosteus pintamateriaalista riippuen 60 %-85 % RH (lähde: Raportti 360-0672684).*
- *Betonirakenteen RH% pyritään saattamaan alle 75 %:n kuivatuksen aikana (lähde: Raportti 360-0682519)*

Edellä esitetyissä kosteusmittausraporttien mittaustulosten tulkintaosuuksissa betonirakenteen suurin sallittu suhteellisen kosteuden arvo on pääosin $80 \% \pm 5 \% \text{ RH}$. Mikäli betonilattian kosteusmittaus tehdään RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaustulos* ohjekortin mukaiselta syvyydeltä (20 % tai 40 % rakenteen paksuudesta), ei ole mitenkään tavatonta, että tulokseksi saadaan yli 80 % suhteellista kosteutta. Tämä ei välttämättä kuitenkaan tarkoita sitä, että rakenteessa oli normaalia enemmän kosteutta ja että sitä pitäisi kuivattaa. Esimerkiksi useimmissa maanvaraisissa lattioissa betonin suhteellinen kosteus syvemmällä rakenteessa voi olla edellä mainittua suurinta sallittua arvoa huomattavasti korkeampi ilman, että lattianpäällysteissä olisi mitään vaurioita.

RT 14-10675 ohjekortissa olevat mittaussyvyydet on lähtökohtaisesti tarkoitettu betonilattian päällystämishetken kosteustilan määrittämiseen. Pyrkimyksenä on arvioida, mihin arvoon kosteus voi enimmillään nousta päällystämisen jälkeen, kun rakenne päällystetään tiiviillä päällysteellä (Nilsson 1980, s. 97). Kyseisiltä mittaussyvyyksiltä myöhemmin rakennuksen käytön aikana saatu kosteuslukema ei välttämättä kerro juuri mitään siitä, onko rakenne toimintaansa nähden liian kostea. Vauriotutkimuksissa oleellista on ensinnäkin selvittää, onko kosteus välittömästi päällystemateriaalin läheisyydessä kriittisen korkea. Syvemmältä rakenteesta tehtävillä mittauksilla selvitetään vaurion syytä ja mahdollista kuivatustarvetta. Tällöin tulee erityisesti selvittää, mistä kosteus on peräisin ja voidaanko sen tuloa ylipäätään estää. Tilanteissa, missä rakenteeseen tulee koko ajan lisää kosteutta, rakenteen kuivattamista varsinkin 75–85 % suhteelliseen kosteuteen voidaan pitää pääsääntöisesti turhana toimenpiteenä. Toimivampani ja usein myös edullisempi korjausvaihtoehto on esimerkiksi lattianpäällysteen vaihtaminen paremmin kosteutta kestävään tai kosteutta läpäisevään materiaaliin.

4.5 NYKYISTEN KOSTEUSRAJA-ARVOJEN TAUSTAA

Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset *SisäRYL 2000* julkaisussa on lattianpäällystystöiden kohdalla vaatimuksena, että alustan kosteus mitataan ennen lattianpäällysteen asentamista ja mittauspöytäkirja luovutetaan rakennuttajalle. Vaatimuksena on myös, että alustan kosteus tulee todeta betonin suhteellisena kosteutena. Ohjeosuudessa mainitaan, että betonialustan kosteus mitataan suhteellisena kosteutena ja siinä viitataan *RT 14-10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* ohjekorttiin. Julkaisussa on esitetty betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja yleisemmille lattianpäällystemateriaaleille. Matto- ja parkettitöiden kosteusraja-arvojen kohdalla lähdeviitteeksi ilmoitetaan *by31/BLY4* (1989) *Betonilattiat. Luokitus-, päällystettävyy-, suunnittelu- ja rakentamisohjeet*. Massapäällysteiden ja pinnoitteiden kohdalla liittyen alustabetonin kosteuteen viitataan *by35/BLY6* (1992) *Betonilattioiden pinnoitusohjeet* julkaisuun.

SisäRYL 2000 julkaisussa olevat alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot ovat samat kuin varhaisemmassa vuonna 1989 ilmestyneessä *Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset RYL 90* julkaisussa. Kosteusarvojen kohdalla *RYL 90*:ssä viitataan julkaisuun *by12* (1985) *Betonilattiat, luokitusohjeet, päällystettävyysohjeet*.

RYL 90:ssä edellytetään *SisäRYL 2000*:n tavoin, että alustan kosteus mitataan ennen päällysteen asentamista ja että kosteus todetaan suhteellisen kosteuden perusteella. *RYL 90*:n selostusosassa, joka antaa viitetietoja suunnittelijalle ja urakoitsijalle, mainitaan kosteusmittauksesta seuraavasti:

Betonialustan kosteus mitataan suoraan suhteellisena kosteutena. Myös painoprosentteina mitattu kosteus voidaan muuntaa suhteellisen kosteuden arvoksi, kun tunnetaan betonin sementtimäärä ja vesi-sementtisuhde. Esimerkiksi Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen betoni- ja silikaattitekniikan laboratorion tiedonannon n:o 70 'Betonilattioiden päällystettävyy' kuvassa 9 on esitetty käyrästä, jolla muuntaminen voidaan suorittaa. Painoprosentilla tarkoitetaan kuivausmenetelmällä saatuja arvoja. Karbidimittaus antaa yleensä 0,5...1,0 prosenttiyksikköä pienempiä kosteuden arvoja kuin kuivausmenetelmä. Betonialustan kosteuden mittausmenetelmä on esitetty kirjassa RIL 155 'Lämmön- ja kosteudeneristys 1984' (RYL90, s. 277).

Vuonna 1981 julkaistussa *Rakennustöiden yleisissä laatuvaatimuksissa RYL 81* annetaan betonialustan kosteuteen liittyviä ohjeita seuraavasti:

Tarvittaessa alustan kosteus mitataan ennen lattianpäällysteen asentamista. Betonialustan kosteus todetaan betonin suhteellisena kosteutena.

Vaatimusten selostusosassa suositellaan, että mittaus tehdään suoraan suhteellisena kosteutena, mutta siinä myös neuvotaan, miten painoprosentteina mitattu kosteus voidaan muuntaa suhteellisen kosteuden arvoksi viitaten VTT:n tiedonantoon 70 *Betonilattioiden päällystettävyy* (Siro et al. 1980). Myös julkaisussa esitettävien betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvojen kohdalla viitataan kyseiseen julkaisuun. Päällystemate-

riaalikohtaiset kosteusraja-arvot ovat samat kuin myöhemmin julkaistuissa *RYL 90* ja *SisäRYL 2000* julkaisussa.

Suomen Betoniyhdistys julkaisi vuonna 1981 ensimmäisen kerran betonilattioiden päällystettävyyttä koskevat ohjeet *by12 Betonilattiat, luokitusohjeet, päällystettävyysohjeet*. Ensimmäiset betonilattioiden luokitusohjeet Suomen Betoniyhdistys julkaisi jo vuonna 1975, mutta näissä päällystettävyyttä ei vielä käsitelty. Betoniyhdistyksen normitoimikunta asetti vuonna 1979 työryhmän tarkistamaan ohjeet ottaen huomioon niistä saadut kokemukset. Myöhemmin työryhmän tehtävää muutettiin siten, että ohjeet päätettiin laajentaa sisältämään myös betonilattioiden päällystettävyysohjeet, jotka perustuivat VTT:n suorittamaan tutkimukseen. Päällystettävyysohjeen lähteenä ovat VTT:n Tiedonanto 70 *Betonilattioiden päällystettävyyys* (Siro et al. 1980) sekä VTT:n tiedote 10/1981 (Siro et al. 1981).

Vuonna 1981 julkaistussa *by12*:ssa on sama ”Päällystämistyön edellytyksenä oleva betonin sallittu suhteellinen kosteus” taulukko kuin VTT:n tiedonannossa 70. Lisäksi julkaisussa on kosteusmittausohjeet. Varsinaisiksi mittausmenetelmiksi luokitellaan suhteellisen kosteuden mittaus, näytteen kuivatus sekä karbidimittaus. Suhteellinen kosteus neuvotaan mittaamaan laatan puolivälin alapuolelle ulottuvasta reiästä, jotta tulokseksi saadaan laatan keskimääräinen kosteuspitoisuus. Karbidimittaus ohjeistetaan tekemään näytteestä, joka on piikattu syvyydeltä 1/4...1/2 laatan paksuudesta (*by12*, 1981, s. 37).

Suomen Betoniyhdistys julkaisi vuonna 1989 yhdessä Suomen Betonilattiayhdistyksen kanssa *by12*:n korvaavat betonilattioiden luokitusohjeet, *by31/BLY4 Betonilattiat, Luokitus-, päällystettävyy-, suunnittelu-, ja rakentamisohjeet 1989*. Myös tässä julkaisussa on ”Päällystämistyön edellytyksenä oleva betonin sallittu suhteellinen kosteus” taulukko. Taulukon sisältö on muuten sama kuin julkaisuissa *by12* sekä VTT:n tiedonanto 70, mutta siitä puuttuu arvo sauva- ja lautaparketille ilman puun ja betonin välistä kosteudeneristystä. Syyksi mainitaan, ettei näiden päällysteiden edellyttämä kosteusraja 60 % ole yleisesti saavutettavissa uudisrakennustyömailla (*by31/BLY4*, 1989 s.101). Ohjeet kosteudenmittaamiselle ovat samat kuin aikaisemmassa *by12* julkaisussa (*by31/BLY4*, 1989, s. 114). Kirjallisuuslähteenä on edellä mainittu VTT:n tiedonanto 70 *Betonilattioiden päällystettävyyys* (Siro et al. 1980) sekä VTT:n tiedote 10/1981 (Siro et al. 1981).

Siron ja Rytövuoren julkaisuissa vuodelta 1980 *Betonilattioiden päällystettävyyys* (VTT:n tiedonanto 70) sekä vuodelta 1981 niin ikään *Betonilattioiden päällystettävyyys* (VTT:n tiedotteita 10) esitetään taulukot sekä betonin kuivumisajan arvioimiseksi että päällystystyön edellytyksenä olevalle betonin sallitulle suhteelliselle kosteudelle (taulukko 3). Kuivumisaika-arviotaulukon lähteenä on Nilssonin tutkimus *Fuktproblem vid betonggolv* vuodelta 1977. Päällystystyön edellytyksenä oleva betonin sallittu suhteellinen kosteus – taulukon lähde ei ole mainittu. Molemmissa julkaisuissa on ilmoitettu kosteudenmittausmenetelmiksi sekä betonin ilmahuokosten suhteellisen kosteuden mittaaminen että karbidimittaus. Suhteellisen kosteuden mittaus neuvotaan tekemään maanvaraisiin lattioihin poratuista reiästä, joka ulottuu noin 2/3...3/4 laatan vahvuudesta alaspäin. Molemmiin puolin kuivumaan pääsevässä laatasta reikä ulotetaan 10...20 mm laatan puolivälin ohi (Siro et al.1980, s. 34). Julkaisuissa on lisäksi ohjeet painoprosenteina määritetyn kosteuden muuttamiseksi suhteelliseksi kosteudeksi.

Vuonna 1990 ilmestyneessä VTT:n tiedotteessa nro 1129 *Betonirakenteiden kosteusmittaus työmaaolosuhteissa ja päällystettävyyysvaatimukset* ”Betonin sallittu suhteellinen kosteus päällystystyötä aloitettaessa” taulukon (Nieminen et al. 1990, s.23) lähteeksi on ilmoitettu *by12 Betonilattiat, luokitusohjeet, päällystettävyysohjeet* vuodelta 1985. Lisäksi julkaisussa lukee, että esitetyt raja-arvot ovat osittain perustuneet valmistajien antamiin tuotetietoihin ja osittain käytännössä kerättyihin kokemuksiin vuosina 1979 – 1981. Julkaisussa on mainita, että suomalaisissa ohjeissa esitetään betonin kosteustilan määrittämisessä suhteellisen kosteuden mittauksen vaihtoehtona niin sanottu punnituskuivatusmenetelmä ja mittaus karbidimetrillä sekä annetaan muutoskäyrät, joilla kosteuspitoisuudet painoprosenteina kuivapainosta voidaan muuttaa suhteelliseksi kosteudeksi. Julkaisussa mainitaan lisäksi, että ruotsalaisen HusAMA 83:n mukaan suhteellisen kosteuden mittaus on ainoa hyväksyttävä lattian kosteuden mittaustapa (Nieminen et al. 1990, s. 22). Suhteellisen kosteuden mittauksen porareian syvyydeksi kyseisessä julkaisussa on ilmoitettu maanvaraisille betonilattioille 10 mm + 40 % laatan paksuudesta ja välipohjille 10 mm + 20 % rakenteen paksuudesta (Nieminen et al. 1990, liite 4).

Betonilattioiden päällystettävyyys (VTT:n Tiedonanto 70) julkaisun taulukko ”Päällystämistyön edellytyksenä oleva betonin sallittu suhteellinen kosteus” (Siro et al. 1980, s. 19) on esiintynyt lähes muuttumattomana monissa myöhemmissä ohjeissa kuten *by12:ssa* (1981;1985), VTT:n tiedotteessa 1129 (1990), *by31/BLY4:ssa* (1989), *by45/BLY7:ssa* (2000;2002). Rakennustöiden yleisissä laatuvaatimuksissa *SisäRYL 2000:ssa* kosteusraja-arvot ovat kelluvaa lautaparketia (alustaan kiinnittämättömät puulattiat, puun ja betonin välissä kosteudeneristys) lukuun ottamatta samat kuin edellä mainitussa taulukossa. Siro et al. (1980) esittämässä taulukossa (taulukko 3) betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvo on 90 %, kun RYL91:ssä ja *SisäRYL 2000:ssa* arvo on 80 %. Betonialustan kosteusmittaukseen liittyvissä ohjeissa on kuitenkin tuona aikana tapahtunut muutoksia. *SisäRYL 2000* edellyttää, että kosteus tulee mitata RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* ohjekortin mukaisesti, kun aikaisemmin kosteus voitiin määrittää myös käyttäen painoprosentteja mittaavia menetelmiä. Myös itse suhteellisen kosteuden mittaamiseen liittyvissä ohjeissa liittyen muiden muassa mittaustapojen valmisteluun ja mittaussyvyyteen on tapahtunut muutoksia.

Suomalaisissa julkaisuissa esitetyt alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot näyttävät perustuvan Siron ja Rytövuoren 1980-luvun alussa tekemään *Betonilattioin päällystettävyyys* tutkimukseen, jonka tarkoituksena oli laatia ohjeet betonilattioiden päällystettävyydestä suunnittelijoille ja käytännön toteuttajille (Siro et al. 1980). Tutkimus on kuitenkin pääosin suoritettu kirjallisuustutkimuksena. Betonin kosteuteen liittyvien osuuksien kirjallisuuslähteenä on lähes poikkeuksetta ruotsalaisen Nilssonin julkaisu *Fuktproblem vid betonggolv* vuodelta 1977. Joissakin kohdin viitataan Pihlajavaaran julkaisuihin (1974), joihin myös Nilsson julkaisussaan samalla tavoin viittaa.

Taulukko 3. VTT:n tiedonannossa 70 ”Betonilattioiden päällystettävyyys” vuodelta 1980 oleva taulukko, jossa ilmoitetaan päällystystyön edellytyksenä oleva betonin sallittu suhteellinen kosteus (keskimääräinen kosteus betonirakenteen korkeussuunnassa) (Siro et al.1980, s. 19).

BETONIN SUHTEELLINEN KOSTEUS %	PÄÄLLYSTEMATERIAALI	HUOM. (SYY KOSTEUSRAJAAN, KOSTEUDENERISTYS, JNE)
< 60	– SAUVA- JA LAUTAPARKETTI ILMAN PUUN JA BETONIN VÄLISTÄ KOSTEUDENERIS- TYSTÄ	KOSTEUSLIIKKEET
<80	– MOSAIKKIPARKETTI	KOSTEUSLIIKKEET, SIENET
<85	– HUOPA-TAI VAAHTOPOHJAISET MUOVI- MATOT – KUMIMATOT – KORKKILAATAT, LAATTOJEN ALAPIN- NASSA KOSTEUDENERISTYS (MUOVIKAL- VO) – TEKSTIILIMATOT, JOISSA ON ALUSRA- KENNE (KUMI, PVC, KUMILATEKSISIVELY) – LUONNONMATERIAALISTA TEHDYT TEKSTIILIMATOT ILMAN ALUSRAKENNET- TA	BAKTEERIT, SIENET, LIIMAT (PVAc)
<90	– MUOVILAATAT – MUOVIMATOT ILMAN HUOPA- TAI VAAH- TOPOHJAA – LINOLI – ALUSTAA KIINNITTÄMÄTTÖMÄT PUU- LATTIAT, PUUN JA BETONIN VÄLISSÄ KOS- TEUDENERISTYS – POLYURETAANITYYPPISET MUOVIMAS- SAT – TÄYSSYNTTEETTISET TEKSTIILIMATOT ILMAN ALUSRAKENNETTA (ERIKOISTAPA- UKSISSA SUHT.KOSTEUS < 97%)	USEIMMAT LIIMATYYPIT EIVÄT KESTÄ, PÄÄLLYTEESSÄ MUUTOKSIA PUULATTIOIDEN KOSTEUDENERIS- TYKSENÄ ESIM. 0,2 mm MUOVI- KALVO SAUMAT LIMITTÄIN JA TEIPATTUNA. MÄRISSÄ TILOISSA SEKÄ BETONIN KOSTEUDEN OLESSA SUURI (>90%) MATTOJEN KIINNITYKSEEN KÄYTETTÄVÄ VEDENKESTÄVÄÄ LIIMAA JA RIITTÄVÄN RUNSAALLA LIIMAMÄÄRÄLLÄ VARMISTETTA- VA SAUMOJEN PITÄVYYS.
<97	– EPOKSI-, AKRYYLI- JA POLYESTERI- TYYPPISET MUOVIMASSAT	BETONIN PINNAN ON OLTAVA MUOVIMASSAA LEVITETTÄESSÄ KUIVA SEKÄ RIITTÄVÄN LÄMMIN, MUUSSA TAPAUKSESSA PINTA ON KUIVATETTAVA VÄLITTÖMÄSTI ENNEN MASSAN LEVITYSTÄ ESIM. SÄTEILYLÄMMIYKSELLÄ KOVET- TUMISEN JA TARTUNNAN VARMIS- TAMISEKSI

Nilsson (1977) julkaisussa *Fuktproblem vid betonggolv* on taulukko, jossa esitetään ehdotuksia joidenkin lattianpäällystemateriaalien kriittiseksi suhteellisen kosteuden arvoiksi (taulukko 4). Nilssonin (Nilsson 2006) mukaan silloiset suhteellisen kosteuden enimmäisarvot perustuvat hänen itsenä tekemiin muutoksiin, missä aikaisemmat painoprosentteina ilmoitetut kosteuspitoisuudet on muutettu tasapainokosteuskäyrien avulla suhteellisen kosteuden arvoksi. Silloisten painoprosentteina ilmoitettujen kosteusraja-arvojen on väitetty perustuvan lähinnä kokemukseen. Mitään varsinaisia kokeita kosteusraja-arvojen määrittämiseksi ei suoritettu. Näin ollen näyttäisi siltä, että esimerkiksi *SisäRYL 2000* julkaisussa olevat betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot perustuvat Nilssonin vuonna 1977 tekemiin ehdotuksiin eivätkä mihinkään tieteellisiin koesarjoihin.

*Taulukko 4. Nilssonin vuonna 1977 ehdottamia kriittisiä suhteellisen kosteuden arvoja joillekin lattianpäällystemateriaaleille (Ericsson et al. 1984, s. 36, alkupe-
räinen lähde Nilsson 1977).*

EHDOTUS MATERIAALIN KRIITTISEKSI SUHTEELLISEN KOSTEUDEN ARVOKSI (yhdes- sä betonilattian kanssa)			
Materiaali	Vauriotyyppi	Vaurion syy	RH_{kriit} (%)
Muovipohjaiset materiaalit	turpoaminen, kupliminen	kosteusliikkeet	95 - 100
	kutistuminen	pehmittimien vaellus + liiman hajoaminen	riippuu liimasta
Mattoliima	hajoaminen, tartunnan heikkeneminen	saippuoituminen riittämätön kuivuminen	90 - 95
Puupohjaiset materiaalit	turpoaminen, lahoaminen	kosteusliikkeet	>75 ~80
Orgaaniset materiaalit	hajun muodostuminen	homesienikasvu	~80
Kriittinen kosteuspitoisuus riippuu tietyllä tavalla sekä materiaalin ominaisuuksista että materiaalin funktioista rakenteessa.			

4.6 BETONILATTIOIDEN PÄÄLLYSTÄMISEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS

Kiristyneet rakentamisaikataulut ja sitä kautta vaatimukset betonirakenteiden nopealle kuivumiselle ovat osaltaan vaikuttaneet betonirakenteiden kuivumistutkimusten suureen määrään 1990-luvulla Suomessa (mm. Johansson 1991; Silvast 1994; Merikallio 1994; Johansson et al. 1995; Eronen 1996, Fahim Al-Neshawy 1996). Tutkimuksissa selvitettiin muun muassa eri tekijöiden, kuten betonin ominaisuuksien, rakenneratkaisun ja ympäristöolosuhteiden, vaikutusta betonirakenteiden kuivumisnopeuteen sekä pyrittiin kehittämään nopeammin kuivuvia betonilaatuja.

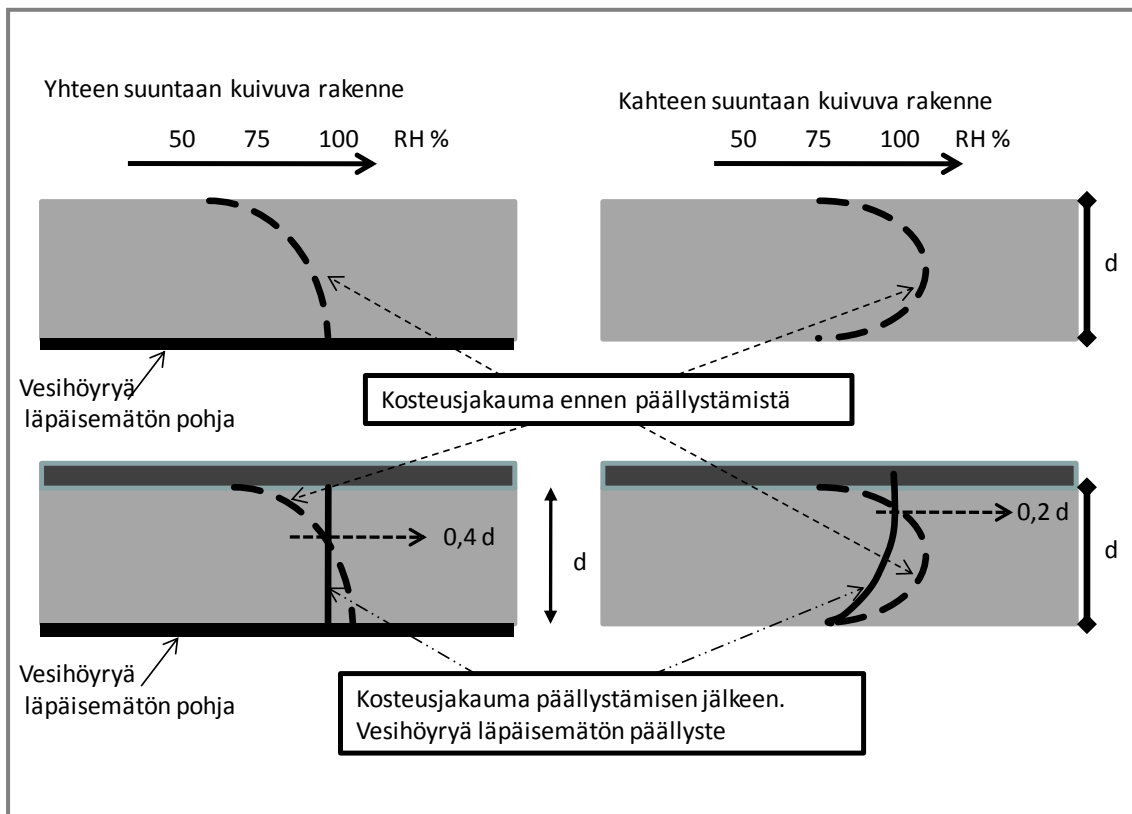
Edellä mainituissa tutkimuksissa betonin kuivumista seurattiin mittaamalla suhteellinen kosteus betoniin poratusta reiästä vuonna 1991 ilmestyneen Vaisalan Oy:n kosteus- ja lämpötilamittapään HMP36 käyttöohjeen *Betonin kosteuden mittaaminen* mukaisesti. Ohjeen mukaan betonilattian kosteusmittausvyvyys on maapohjalattioissa 40 % ja välipohjissa 20 % laatan paksuudesta (Vaisala 1991). Mittausvyvytydet perustuvat Nilssonin vuonna 1979 julkaisemaan tutkimukseen *Fuktmätning del 2 av byggfukt i betongplatta på mark, torknings- och mätmetoder*, jonka mukaan kosteus tiiviin päällysteen alla nousee päällystämisen jälkeen enimmillään siihen arvoon, mikä edellä mainitulla mittausvyvytydellä vallitsi päällystyshetkellä (kuva 18).

Edellä mainittu mittausvyvyyskäytäntö on vakiintunut Suomessa erityisesti vuonna 1998 Rakennustietosäätiön julkaiseman RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* ohjekortin vaikutuksesta. Kyseisen ohjekortin mukaan kosteusmittausvyvyys määräytyy rakenteen paksuuden mukaan: kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa 20 % rakenteen paksuudesta ja yhteen suuntaan kuivuvassa 40 % rakenteen paksuudesta. Aikaisemmissa kosteusmittausohjeissa suositeltavissa mittausvyvyyksissä on voinut olla suuriakin eroja edellä mainittuun verrattuna.

Betonin kuivumistutkimusten rinnalla on tutkittu ja kehitetty myös betonin kosteuden mittausta. Erityisesti Ruotsissa on tehty useita betonin suhteellisen kosteuden mittaukseen liittyviä tutkimuksia (mm. Nilsson 1988; Pastraw 1990; Hedenblad 1994; Gårlin 1995; Sjöberg 1998), joissa havaittiin betonin suhteellisen kosteuden mittaukseen liittyviä lukuisia epävarmuustekijöitä. Tutkimustulosten myötä mittaukseen liittyvät ohjeet ovat muuttuneet. Esimerkiksi 1990-luvulla yleisesti betonin kosteusmittauksissa käytettyä *Vaisala HMP36* mittapäältä alettiin vaatia huomattavasti aikaisempia pidempiä tasaantumisaikoja mittausreiässä. Aiemmin vaatimuksena oli noin 15 minuuttia (Vaisala 1991), kun uusimmissa ohjeissa vaadittiin jopa kahdeksaa tuntia (Hedenblad 1995). Vuosina 1996 - 1998 käynnissä olleen Vaisala Oyj:n, Lohja Rudus Oy:n ja Humittest Oy:n yhteishankeen *Betonin suhteellisen kosteuden mittaustekniikan kehittäminen* tuloksena syntyi erityisesti betonirakenteiden kosteudenmittaamiseen tarkoitettu kosteus- ja lämpötilamittapää *Vaisala HMP44*, joka muun muassa kevyemmän rakenteensa ansiosta saavuttaa kosteustasapainon betonin kanssa varhaisempaa *Vaisala HMP36* mittapäättä huomattavasti nopeammin. (Lumme et al. 1997, s. 24).

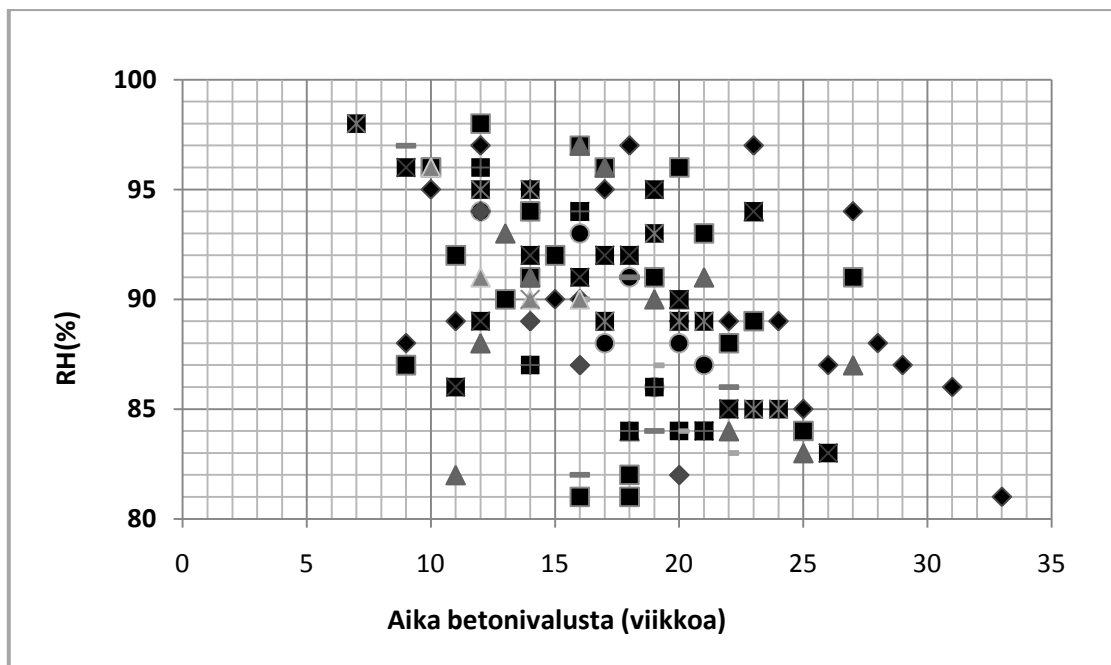
Betonin suhteellisen kosteuden mittausmenetelmän ja laitteiden kehittyminen on johtanut entistä tarkempaan mittaukseen. Tämä on puolestaan johtanut siihen, että nyky-mittausmenetelmää käytettäessä monien päällystemateriaalien edellyttämää kosteusta-

soa, kuten esimerkiksi mosaiikkiparketin 80 %:n raja-arvoa, on suunnitellun aikataulun puitteissa lähes mahdotonta saavuttaa. Kuivumisaika-arvioiden perusteella esimerkiksi 250 mm paksun betonivälipohjan (betonin vesi-sideainesuhde v/s 0,7) laskennallinen kuivumisaika vaadittavaan 85 % suhteelliseen kosteuteen kestäisi +18 °C lämpötilassa ja 60 % suhteellisessa kosteudessa noin 55 viikkoa, kun rakenne on aluksi kastunut noin 4 viikon ajan (Merikallio 2002, s. 42). Todellisista työmaakohteista mittaustulokseksi (kuva 19) on harvoin saatu alle 85 % suhteellista kosteutta, saati joidenkin päällystysmateriaalien edellyttämää 80 %, kun mittaukset on tehty RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* ohjekortin mukaisilta syvyyksiltä.



Kuva 18. *Betonilattian suhteellisen kosteuden mittaussyvyydet perustuvat oletukseen, että päällystämisen jälkeen suhteellinen kosteus tiiviin päällysteen alla nousee enimmillään siihen arvoon, mikä rakenteessa vallitsi ennen päällystämistä kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa 20 % syvyydellä rakenteen paksuudesta ja yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa 40 % syvyydellä rakenteen paksuudesta.*

Vuosina 1995–1998 Teknillisen korkeakoulun (TKK) Betoniteknikan (nykyisin Rakennusmateriaalitekniikan) laboratoriossa käynnissä olleessa *Betonilattioiden pinnoittamisen nopeuttaminen* (Merikallio et al. 1995,1996; Eronen et al. 1998b) tutkimushankkeessa havaittiin, että esimerkiksi mosaiikkiparketilla päällystettäessä kosteus päällystämisen jälkeen ei nousekaan päällysteen alla samaan arvoon kuin mitä mittaussyvyydellä vallitsi päällystyshetkellä, vaan jää huomattavasti alhaisemmaksi. Syynä tähän on mosaiikkiparketin vesihöyrynläpäisevyys. Eronen et al. (1998 b) tekemän tutkimuksen lattiapäällysteiden vesihöyrynläpäisevyydesteissä tammimosaiikkiparketin vesihöyrynläpäisevyydeksi mitattiin $2,6 \cdot 10^{-10}$ kg/m²sPa, kun muovimatolla vastaavaksi arvoksi saatiin $6,5 \cdot 10^{-12}$ kg/m²sPa. Jo tällöin ehdotettiin, että mosaiikkiparketin alustabetonilta edellyttämä 80 % suhteellisen kosteuden enimmäisarvoa nostettaisiin. Näin ei kuitenkaan tapahtunut. Päällystämiseen liittyvää tutkimusta kuitenkin jatkettiin - seuraavaksi Tampereella.



Kuva 19. Eri rakennuskohteiden paikalla valetun betonivälipohjan (250 mm paksu) kosteusmittaustuloksia suhteessa betonilaatan ikään (valuhetkestä). Mittaukset on tehty 20 % syvyydeltä rakenteen paksuudesta. Kuvassa olevat erilaiset symbolit kuvaavat eri rakennuskohteita. Samassa rakennuskohteessa mittauksia on tehty eri aikaan valetuista rakenteista (lähde Humittest Oy:n kosteusmittausraportit vuosilta 1995 - 2001).

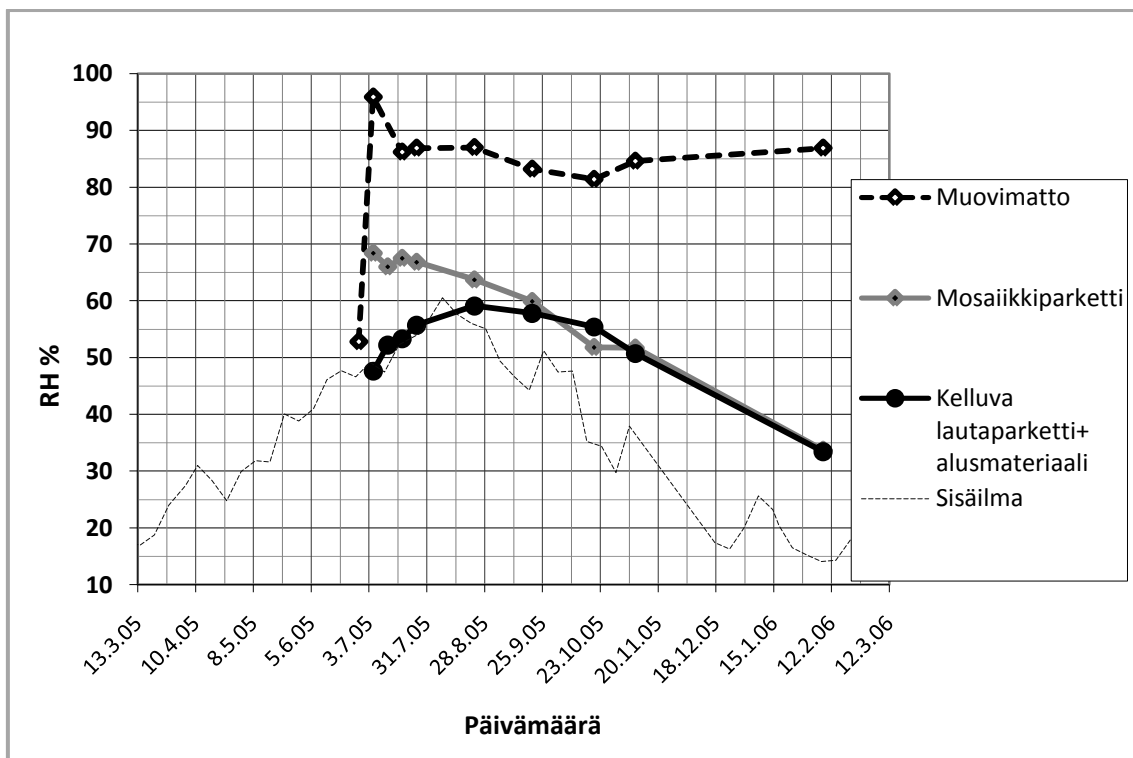
Tampereen teknillisessä korkeakoulussa (nykyisin Tampereen teknillinen yliopisto) vuosina 1999 - 2002 käynnissä olleessa *Kosteusvirta* tutkimuksessa (Lindberg et al. 2002) selvitettiin laboratoriokokeiden avulla erilaisten betonien, lattianpäällysteiden ja muiden lattian pintakerrosten sekä kuivumisolosuhteiden vaikutusta lattiarakenteen kuivumiseen ja kosteuden siirtymiseen rakenteen sisällä. Tutkimuksessa tarkasteltiin erityisesti kosteuden siirtymistä lähellä rakenteen pintaa, mikä on kosteusvaurioiden syntymisen kannalta kriittisintä. Kokeissa havaittiin ero tavanomaisen lattiabetonin (K30) ja nopeasti päällystettävän erikoisbetonin (NP40) välillä betonilaatan kuivumisessa ennen päällystämistä, mutta myös päällystämisen jälkeen. Suhteellinen kosteus lähellä betonilaatan pintaa kohosi päällystämisen jälkeen molemmilla betoneilla, mutta erikoisbetonilla vähemmän kuin tavanomaisella. Kokeissa havaittiin myös, että päällystemateriaalin tiiviys vaikuttaa siihen, kuinka korkealle pintakerrosten alapuolinen suhteellinen kosteus nousee ja kuinka nopeasti se laskee kosteuden siirtyessä päällysteen läpi huoneilmaan (Lindberg et al. 2002). Lattianpäällysteiden vesihöyrynläpäisevyyksissä havaittiin merkittäviä eroja. Esimerkiksi linoleumimatot ja asuinhuoneisiin tarkoitetut pehmeärakenteiset muovimatot läpäisivät vesihöyryä huomattavasti paremmin kuin homogeeniset lähinnä julkisiin tiloihin tarkoitetut muovimatot (Lindberg et al. 2002, s. 36).

Aikaisemmin mainittuihin Teknillisessä korkeakoulussa (TKK) ja Tampereen teknillisessä korkeakoulussa (TTKK) tehtyihin betonilattioiden päällystämiseen liittyviin tutkimuksiin sekä Humittest Oy:n ja Lohja Rudus Oy:n yhdessä rakennusurakoitsijoiden kanssa käytännön kohteissa tehtyihin mittauksiin (Niemi 2001) pohjautuen parkettilattioiden suhteellisen kosteuden raja-arvoja pyrittiin nostamaan 80 %:sta 85 %:iin ja jopa 90 %:iin jo 2000-luvun alussa. Suomen Betoniyhdistyksen ja Betonilattiayhdistyksen julkaisussa *by45/BLY7 Betonilattiat 2002* suhteellisen kosteuden raja-arvona esimerkiksi kelluvalle lautaparketille on nykyisin 85 % (by45/BLY7, s. 132). *SisäRYL 2000* julkaisussa vaatimuksena on edelleen 80 % suhteellinen kosteus, edellyttäen, että puun ja betonin välissä on kosteudeneristys. Mikäli eristystä ei ole, vaatimus on 60 % (SisäRYL2000, s. 332). Mosaiikkiparketilla päällystettäessä alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvona on kummassakin julkaisussa 80 %.

Syksyllä 2004 käynnistettiin *Betonilattioiden päällystämisen ohjeistus* (BePO) -projekti (2004 - 2006), jonka tavoitteena oli saada aikaan yhtenäiset eri osapuolten hyväksymät ohjeet betonilattioiden päällystämiseksi. Projektin vetovastuu oli rakentamisen kosteudenhallintaan erikoistuneella konsulttiyhtiöllä Humi-Group Oy:llä (aiemmin Humittest Oy). Hankkeeseen osallistui suuri joukko tavalla tai toisella betonilattioiden päällystämisen kanssa tekemisissä olevia yrityksiä, kuten materiaalivalmistajia, rakennusurakoitsijoita, lattianpäällysteyrakojen sijoittajia ja rakennuttajia. Hankkeessa tehtiin muun muassa laajoja koesarjoja, joissa eri kosteuspitoisuuden omaavia betonilaattoja päällystettiin erilaisilla lattianpäällysteillä (mosaiikkiparketilla, kelluvalla lautaparketilla, laminaatilla ja muovimatolla). Laattojen kuivumista seurattiin ennen ja jälkeen päällystämisen. (Niemi et al. 2007).

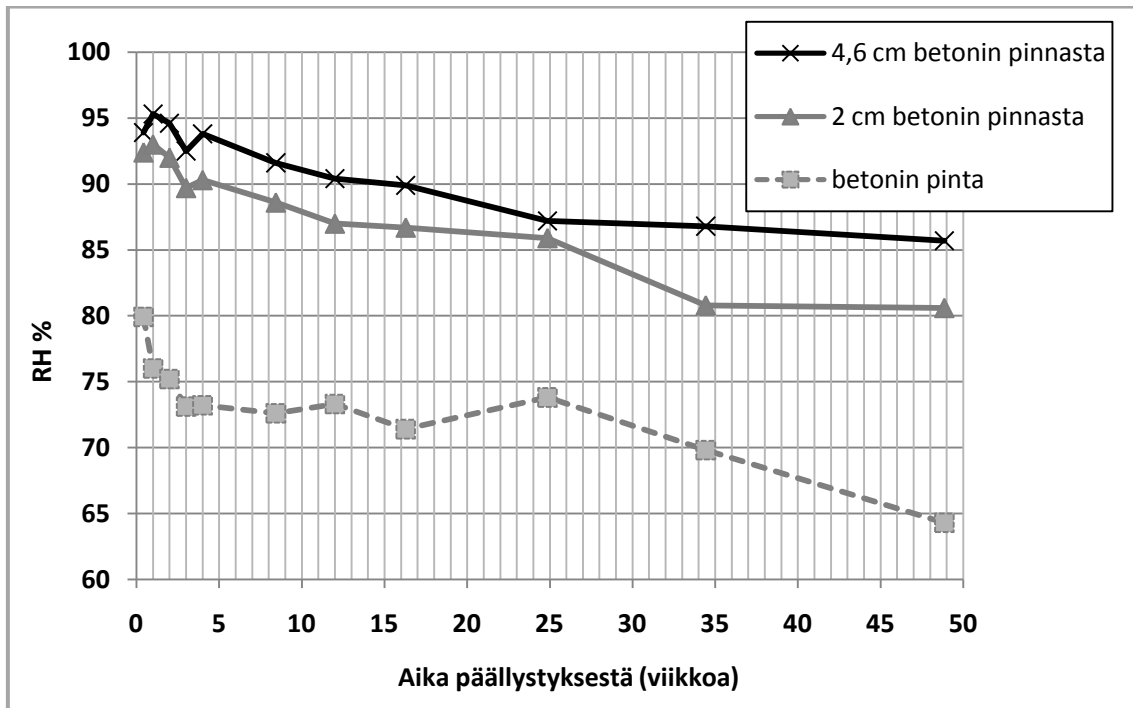
BePO -projektin tutkimustulokset (Niemi et al. 2007) osoittivat aiempien TKK:n ja TTKK:n tutkimusten tavoin, että lattianpäällysteen vesihöyrynläpäisevyys (vesihöyrynvastus) vaikuttaa merkittävästi siihen, miten betonin kosteus päällysteen alla jakautuu uudelleen päällystämisen jälkeen. BePO – projektin tutkimuksissa valettiin betonilaatto-

ja, joiden annettiin kuivua 95 %, 90 %, 85 % tai 80 % suhteelliseen kosteuteen ennen päällystämistä joko muovimatolla, mosaiikkiparketilla, kelluvalla lautaparketilla tai laminaatilla. Koekappaleista mitattiin suhteellista kosteutta sekä ennen että jälkeen päällystämisen usealta eri syvyydeltä. Tutkimustulokset (kuva 20) osoittivat muun muassa, että koekappaleissa, joiden annettiin kuivua 85 % suhteelliseen kosteuteen (40 % syvyydellä rakenteen paksuudesta) ennen päällystämistä, suhteellinen kosteus tiiviin muovimaton alla nousi päällystämisen jälkeen lähelle 85 %, mutta parketeilla ja laminaatilla päällystettäessä kosteus päällysteen alla jäi huomattavasti alhaisemmaksi, alle 70 %:iin.



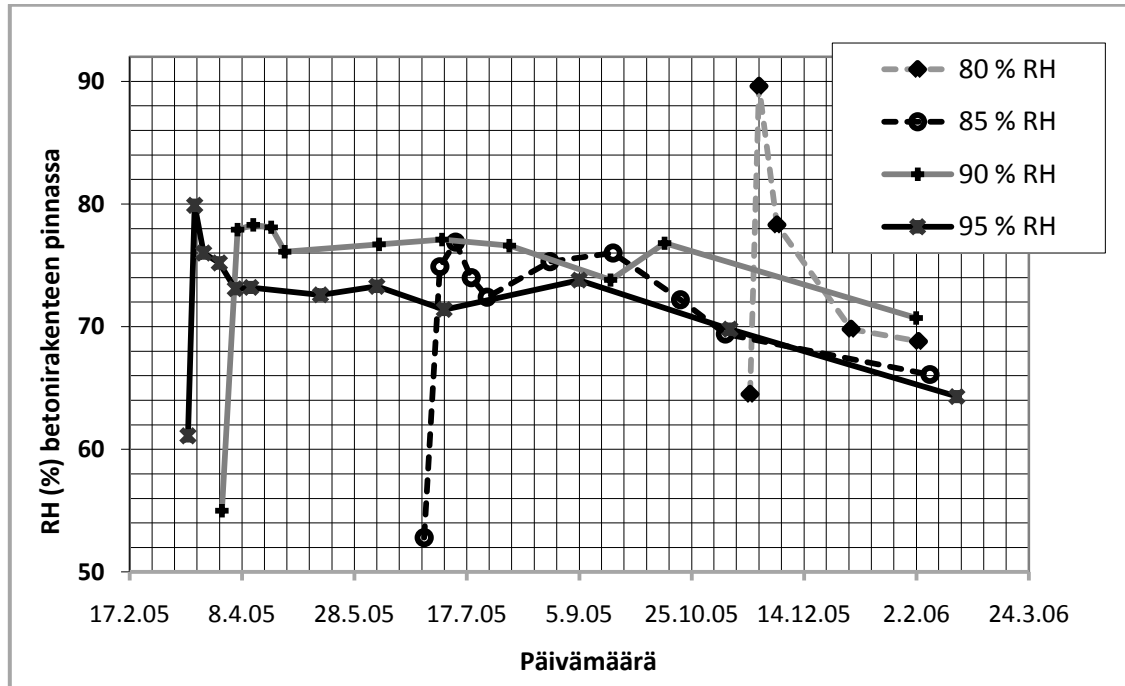
Kuva 20. Erilaisten lattianpäällysteiden alapuolinen (välittömästi päällysteen alla) suhteellinen kosteus RH (%) ajan funktiona, kun betonin suhteellinen kosteus 40 % syvyydellä rakenteen paksuudesta oli päällysteen asennushetkellä 85 %. Kuvassa on lisäksi rakennetta ympäröivän sisäilman suhteellinen kosteus. (Niemi et al. 2007).

Kelluvan lautaparketin ja laminaatin tapauksessa päällystemateriaalin alapuolinen kosteus seurasi lähinnä sisäilman kosteutta, sillä vesihöyrynläpäisevyydeltään tiivis parketin alusmateriaali (Tuplex) läpäisi huomattavasti hitaammin vesihöyryä kuin parkettimateriaali estäen näin betonin kosteuden vaikutukset itse parkettiin. Mosaiikkiparkettitapauksessa syynä oli parketin hyvä vesihöyrynläpäisevyys. Vaikka koekappaleen suhteellinen kosteus oli päällystyshetkellä jopa 95 %, kosteus päällystemateriaalina olleen mosaiikkiparketin välittömässä läheisyydessä (betonin pinnassa) ei noussut kriittisen korkeaksi (kuva 21).



Kuva 21. Betonilattiarakenteen suhteellinen kosteus RH (%) päällystämisen jälkeen päällysteen alta (betonin pinta), 2 cm ja 4,6 cm syvyydeltä mitattuna. Rakenne on päällystetty betonin pintaan liimattavalla mosaiikkiparketilla, kun betonin suhteellinen kosteus 4,6 cm:n syvyydellä oli noin 95 %. (Nieminen et al. 2007).

Kun BePO -projektin tutkimuksessa verrattiin samana päivänä valettuja, mutta eripituisen kuivumisajan jälkeen (ja siten eri kosteustilassa) mosaiikkiparketilla päällystettyjä koekappaleita, kaikissa koekappaleissa havaittiin noin vuoden kuluttua valuhetkestä päällysteen alapuolisen suhteellisen kosteuden olevan alle selvästi 75 %. Yksi laatoista päällystettiin noin kolmen viikon kuivumisen jälkeen betonin suhteellisen kosteuden ollessa noin 95 %, yksi viiden viikon kuivumisen jälkeen betonin suhteellisen kosteuden ollessa noin 90 %, yksi 17 viikon kuivumisen jälkeen suhteellisen kosteuden ollessa noin 85 % sekä viimeinen 34 viikon jälkeen kun suhteellinen kosteus oli noin 80 %. Oli kyseinen rakenne sitten kuivatettu 95 %, 90 %, 85 % tai 80 % suhteelliseen kosteuteen (vaaditulla mittaussyvyydellä), muutaman viikon kuluttua viimeisimmästä päällystämisestä kosteus päällysteen alla on kaikissa tapauksissa alle 75 %, mutta vaadituissa kuivumisajoissa on huomattavia eroja, 3 viikosta 34 viikkoon (kuva 22).



Kuva 22. *Betonin suhteellinen kosteus RH (%) välittömästi lattianpäällysteenä olevan mosaiikkiparketin alapuolella päällystämisen jälkeen. Päällystystyö on tehty betonin suhteellisen kosteuden ollessa 4,6 cm syvyydellä 95 %, 90 %, 85 % ja 80 %. Vaikka betonin suhteellisissa kosteuksissa oli huomattavia eroja päällystyshetkellä, kosteus päällysteen alla nousee ajan kuluessa kutakuinkin samaan arvoon päällystämisen jälkeen. (Niemi et al. 2007).*

BePO -projektin tuloksena syntyi kaksi Suomen Betonitieto Oy:n ja Lattian- ja seinän-päällysteliitto ry:n yhteisjulkaisua: *Betonilattiarakenteiden kosteuden hallinta ja päällystäminen* (Merikallio et al. 2007) sekä tästä tiivistetty *Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet*. Molemmissa julkaisuissa on esitetty alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot päällystyshetkellä. Raja-arvojen kohdalla mainitaan, että niitä voidaan käyttää vain, jos mittaustarkkuus täyttää kyseisessä ohjeessa esitetyt tarkkuusvaatimukset. Lisäksi julkaisuissa mainitaan, että raja-arvoista voidaan poiketa tapauskohtaisesti tarkemman fysikaalisen tarkastelun perusteella ja että materiaalitoimittajat voivat myös antaa tapauskohtaisesti noudatettavia päällystysraja-arvoja (Merikallio et al. 2007, s. 50). Julkaisuissa esitetyt alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot ovat lähes kaikille materiaaleille 85 % rakenteen paksuudesta riippuvaiselta arviointisyvyydeltä mitattuna. Täyssynteettisillä tekstiilimatoilla ilman alusrakennetta ja muovi-, kumi- ja linoleumilaatoilla raja-arvo on 90 %. Erikoisbetonia (v/s <0,5) käytettäessä myös mosaiikkiparketin raja-arvona on myös 90 %. Arviointisyvyys eli kosteusmittausvyvyys on kahteen suuntaan kuivuissa rakenteissa 20 % rakenteen paksuudesta ja yhteen suuntaan kuivuissa 40 %. Maksimimittaussyvyudeksi, josta päällystettävyyssarvio tehdään, esitetään 7 cm:ä. Lisäksi kaikissa tapauksissa edellytetään, että suhteellinen kosteus betonin (tasoitteen) pinnassa sekä 1-3 cm:n syvyydellä on alle 75 %. (Merikallio et al. 2007).

BePO -julkaisuissa esitetyt kosteusraja-arvot ovat erityisesti parketti- ja laminaattipäällysteiden osalta askel järkevämpään suuntaan. Valitettavasti ohjearvot ovat kuitenkin edelleen jonkinlaisia kompromisseja eikä niissä vielä ole riittävästi otettu huomioon erilaisia rakenteita, eri betonilaatujen kosteudensiirto-ominaisuuksia eikä päällystemateriaalien vesihöyrynläpäisevyysominaisuuksia. Ehdotuksena kyllä oli, että päällystemateriaalien kosteusraja-arvot perustuisivat niiden kosteudensietokyvyn lisäksi kosteudenläpäisykykyyn, mutta erityisesti päällystemateriaalivalmistajien keskuudessa tämän pelättiin johtavan läpäisevämpien materiaalien kilpailuetuun.

Käytännön rakennuskohteissa työselostuksen betonilattioita koskevassa osuudessa viitataan yleensä edelleen *SisäRYL 2000* julkaisuun. Näin ollen esimerkiksi parkettilattiaa tehdessä monissa kohteissa betonilattiaa tulee kuivattaa 80 % suhteelliseen kosteuteen, vaikka todellisuudessa vähempikin kuivattaminen riittäisi. Toisaalta homogeenisellä (tiivillä) muovimatolla päällystettäessä sallitaan *SisäRYL 2000*:n mukaan 90 % suhteellinen kosteus, vaikka riski vaurion syntyyn on esimerkiksi parkettilattiaa ilmeisempi.

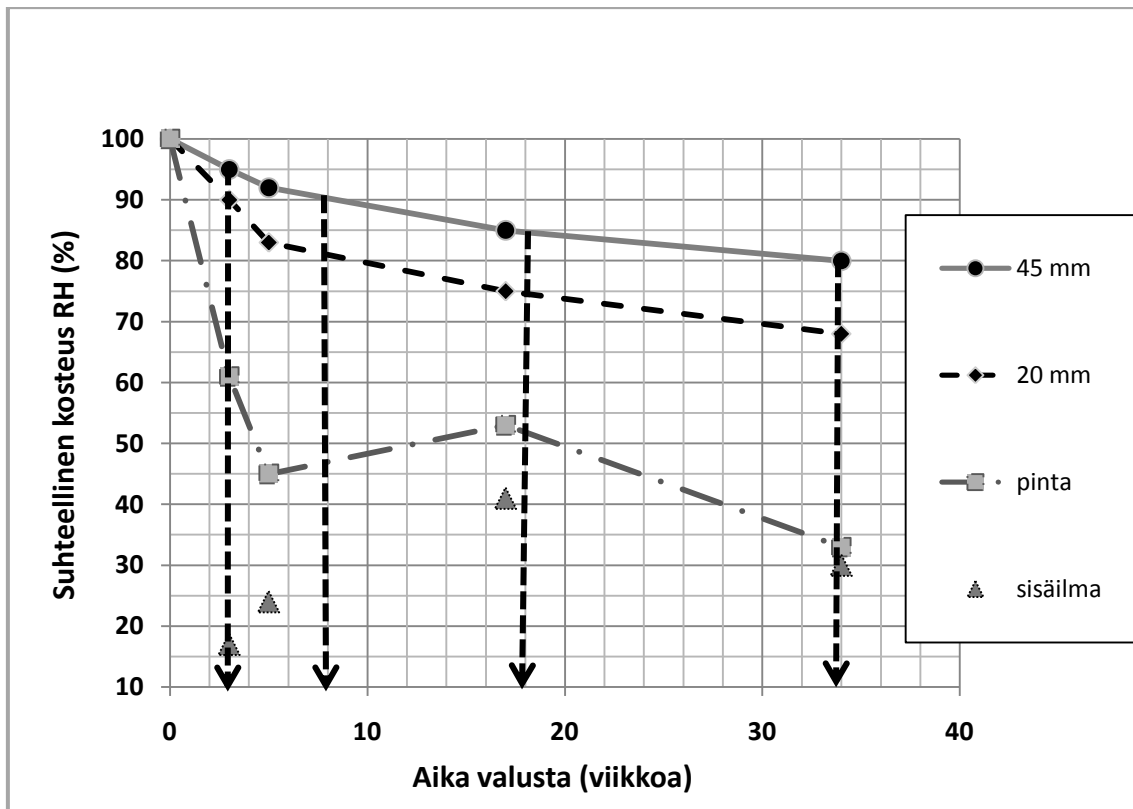
4.7 KOSTEUSRAJA-ARVON VAIKUTUS BETONILATTIAN VAADITTAVAAN KUIVUMISAIKAAN

Lattianpäällystemateriaalin edellyttämän alustabetonin suurimman sallitun kosteusarvon vaikutusta betonilattiarakenteen vaadittavaan kuivumisaikaan voidaan tarkastella vertaamalla tietyn betonikoekappaleen kuivumista tavoitekosteustilaan. Tässä yhteydessä esimerkkinä käytetään Humi-Group Oy:ssä vuosina 2004 - 2006 käynnissä olleen *Betonirakenteiden päällystämisen ohjeistus* (BePO) – projektin tutkimusten rakennekoekappaleita sekä niistä saatuja kosteusmittaustuloksia (Niemi et al. 2007). Koekappaleilla, jotka oli valettu normaalista lattiabetonista (vesi-sideainesuhde 0,7) tiiviiseen muovilattikkoon (pinta-alalta 450 mm x 600 mm ja korkeus 110 mm) mallinnettiin yhteen suuntaan kuivuvaa betonilattiarakennetta. Koekappaleiden kuivumista ja kosteuden liikkeitä seurattiin mittaamalla betonin suhteellista kosteutta Vaisala Oyj:n valmistamilla HMP44 lämpötila- ja kosteusmittapäillä rakenteen pinnasta, noin 20 mm syvyydeltä sekä noin 45 mm syvyydeltä (kuva 23).

Kun esimerkkirakenteen kuivumista seurataan mittaamalla betonin suhteellinen kosteus RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen* ohjeen mukaiselta syvyydeltä eli tässä tapauksessa noin 45 mm syvyydeltä, rakenne kuivuu 95 %:iin noin 3 viikossa, 90 %:iin noin 8 viikossa, 85 %:iin noin 18 viikossa ja 80 %:iin noin 34 viikossa. Näin ollen esimerkiksi kelluvalla lautaparketilla päällystettäessä vaadittava kuivumisaika voi vaihdella kolmesta viikosta (tavoitteen ollessa 95 %) aina 34 viikkoon (tavoitteen ollessa 80 %) riippuen siitä, mitä raja-arvoa noudatetaan. Joidenkin materiaalivalmistajien vaatimaan 60 % raja-arvon saavuttamiseen kuluvaa kuivumisaikaa ei tässä tutkimuksessa pystytty arvioimaan, sillä tutkijalla ei ole käytettävissään yhtään tutkimusta, missä rakenne olisi kuivunut kyseiseen arvoon edellä mainitulla mittaussyvyydellä. Todennäköisesti kuivumisaika olisi kuitenkin pitkälti toista vuotta.

Päällystemateriaalivalmistajien ilmoittamilla tuotekohtaisilla kosteusraja-arvoilla on merkittävä vaikutus betonilattiarakenteen vaadittavaan kuivumisaikaan ja sitä kautta rakentamisaikatauluun ja kustannuksiin. Turhan alhaiset raja-arvot ovat rakennusurakoitsijan kannalta epäedullisia. Nämä voivat johtaa aikataulun viivästymiseen ja lisäkuivatustoimenpiteisiin. Kosteusmittauksen kehityttyä ja tultua entistä tarkemmaksi, useissa tapauksissa vaadittavaa kosteustilaa ei voida saavuttaa suunnitellun rakennusajan puitteissa normaalein toimenpitein.

Kosteusraja-arvojen osalta on myös syytä ottaa huomioon, että joidenkin lattianpäällysteiden ja niiden kiinnittämiseen käytettävien liimojen sekä lattiatasoitteiden kemialliset ominaisuudet ovat vuosien kuluessa saattaneet muuttua. Joillakin muutos on voinut olla siihen suuntaan, että niiden kosteudensietokyky tai vesihöyrynläpäisevyys on aikaisempaa heikompi. Tällöin aikaisempien kosteusraja-arvojen alittaminen ei enää välttämättä riitä antamaan varmuutta rakenteen toimivuudesta.



Kuva 23. Yhteen suuntaan kuivuvan 110 mm paksun betonilaatan suhteellinen kosteus RH (%) ajan funktiona kolmelta eri syvyydeltä mitattuna (pinta, 20 mm ja 45 mm). Laatta on valettu normaalista lattiabetonista, jonka vesisideainesuhde (v/s) on 0,7. Lisäksi kuvassa on esitetty koekappaletta ympäröivän sisäilman suhteellinen kosteus. Sisäilman ja betonin lämpötila on noin + 20 °C. Nuolet osoittavat rakenteen vaatiman kuivumisaajan 95 %, 90 %, 85 % ja 80 % suhteelliseen kosteuteen, kun mittaus on tehty 45 mm syvyydeltä. (Alkuperäinen lähde Niemi et al. 2007).

4.8 YHTEENVETO KOSTEUSRAJA-ARVOISTA

Hyvän rakennustavan mukaisesti toimivan rakennusurakoitsijan tulee huolehtia, että betonilattia on riittävän kuiva ennen lattianpäällystystyöhön ryhtymistä. Selkeimmässä tapauksessa riittävän kuivumisen taso on esitetty rakennekohtaisesti työselostuksessa betonialustan suurimpana sallittuna kosteuspitoisuutena. Työselostuksessa voidaan myös viitata johonkin tiettyyn julkaisuun, jossa vaadittava kosteusraja-arvo ilmoitetaan. Ensisijaisesti urakoitsijan tulee kuitenkin noudattaa materiaalivalmistajan antamia ohjeita, jotta tuotteen takuu pysyy voimassa.

Mikäli vaadittavaa kosteustasoa ei ole työselostuksessa tai materiaalivalmistajan ohjeissa ilmoitettu, urakoitsijan tulee noudattaa muita hyvän rakennustavan mukaisia menettelyjä. Tällöin käännetään yleensä *Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset SisäRYL 2000* julkaisun puoleen, jossa esitetään päällystemateriaalikohtaisia alustabetonin suurimpia sallittuja kosteuspitoisuuksia yleisimmille lattianpäällysteille. Vastaavia kosteusraja-arvoja löytyy myös muista hyvän rakentamistavan mukaisia menettelytapoja kuvaavista julkaisuista.

Eri tahojen julkaisemien ohjekirjojen sisältämissä alustabetonin kosteusraja-arvoissa voi kuitenkin olla huomattavia eroja. Myös eri lattianpäällystemateriaalivalmistajat saattavat ilmoittaa samalle tuotteelle toisistaan poikkeavia suurimpia sallittuja kosteusarvoja. Toisaalta sama materiaalivalmistaja voi ilmoittaa samalle tuotteelleen eri maissa julkaisuissa ohjeissa erilaisia ohjearvoja. Eroja on sekä kosteusraja-arvon suuruusluokissa että mittayksiköissä (esim. % RH, p- %). Betonilattian vaadittava kuivumisaika voi vaihdella useita viikkoja (esim. 3-34 viikkoa) riippuen siitä, minkä julkaisun ohjeita noudatetaan.

Suomessa 1980-luvun alusta 2000-luvulle julkaistut betonilattioiden päällystämiseen liittyvät yleiset ohjeet (kuten RYL 81, RYL 90, SisäRYL 2000, by12, by31/BLY4, by45/BLY7) ovat kosteusraja-arvojen osalta sisällöltään kutakuinkin samanlaiset. Uusimassa *Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset SisäRYL 2000* julkaisussa on samat suhteellisen kosteuden enimmäisarvot kuin aikaisemmissa *RYL 81 ja RYL 90* julkaisuissa. Kosteusmittausmenetelmässä on kuitenkin tuona aikana tapahtunut muutoksia. Edellä mainittujen julkaisujen kosteusraja-arvojen alkuperäisenä lähteenä on vuonna 1977 julkaistu ruotsalainen tutkimusraportti *Fuktproblem vid betonggolv* (Nilsson 1977), jossa esitetään ehdotuksia joidenkin materiaalien kriittisiksi suhteellisen kosteuden arvoiksi.

Nykyisille uudisrakennushankkeissa noudatettavilla betonilattian kosteusraja-arvoille ei löydy materiaalin ominaisuudet ja kosteusmittausmenetelmä huomioon ottavia tieteellisiä perusteita. Raja-arvoissa ei oteta huomioon erilaisia rakenteita, betonin kosteuden siirtokykyä eikä erilaisten päällystemateriaalin kykyä läpäistä betonista haihtuvaa kosteutta. Näillä tekijöillä on kuitenkin merkittävä vaikutus betonilattian kosteuskäyttäytymiseen päällystämisen jälkeen.

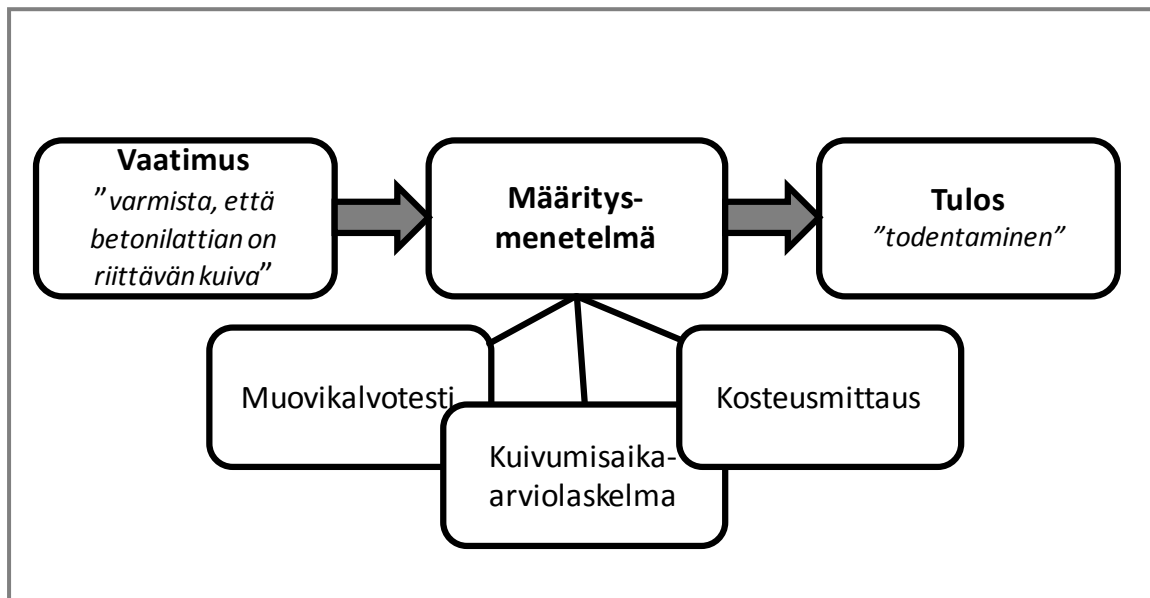
Puupohjaisten lattiapäällysteiden kuten parketin ja laminaatin kosteusraja-arvot ovat pääsääntöisesti turhan alhaisia. Seurauksena voi olla betonilattian tarpeettoman pitkä kuivatusaika ja siitä johtuvat ylimääräiset kustannukset. Tiiviiden muovimattojen kos-

teusraja-arvot saattavat puolestaan olla liian korkeita, mikä voi johtaa kosteusvaurioon sekä siitä aiheutuviin toiminnallisiin, taloudellisiin ja jopa terveydellisiin haittoihin. Tiiviiden lattianpäällysteiden kosteusraja-arvojen alentamisen sijaan sekä taloudellisesti että toiminnallisesti järkevämpi vaihtoehto on kehittää päällystemateriaaleja sellaiseen suuntaan, että niiden vesihöyrynläpäisevyys ja kosteudenkestävyys paranevat. Näin betonilattian vaadittavaa kuivumisaikaa saadaan lyhennettyä ja samalla kuitenkin kosteusvaurioriskiä pienennettyä.

5 BETONILATTIAN RIITTÄVÄN KUIVUMISEN TODENTAMINEN

5.1 MENETELMÄT BETONILATTIAN RIITTÄVÄN KUIVUMISEN TODENTAMISEKSI

Betonilattiarakenteen riittävää kuivumista määritettäessä tavoitetilän eli kosteusraja-arvon määrittämisen jälkeen tulee valita menetelmä, jolla tavoitteen saavuttaminen voidaan todentaa. Rakennustyömailla betonilattian riittävää kuivumista on arvioitu monenlaisilla menetelmillä, joiden toiminta on voinut perustua esimerkiksi betonin sähköisten ominaisuuksien, betonista haihtuvan kosteuden määrän tai betonin huokosrakenteessa olevan vapaan veden määrän mittaamiseen. Menetelmä on voinut myös perustua pelkästään kuivattamiseen käytettävään aikaan. Rakentajien keskuudessa hyvin tunnettu lause on esimerkiksi *”betoni kuivuu sentti per viikko”*, mihin perustuen rakenteen paksuus määrää vaadittavan kuivumisajan. Tämän periaatteen mukaan esimerkiksi 10 cm paksu maanvarainen laatta on riittävän kuiva 10 viikon kuivumisen jälkeen. Riittävää kuivumista on arvioitu myös erilaisten kirjallisuudesta löytyvien kuivumisaika-arviotaulukoiden ja -käyrien avulla. Näitä arviointimenetelmiä ei kuitenkaan pidetä kovin luotettavina, sillä betonilattian kuivumisnopeuteen vaikuttaa monta eri tekijää, joita arvioinneissa ei riittävällä tarkkuudella oteta huomioon.



Kuva 24. Betonilattialta vaadittavan riittävän kuivumisen todentamiseen on olemassa erilaisia menetelmiä.

Aiemmin yleisesti käytetty menetelmä betonilattian riittävän kuivumisen määrittämiseen on niin sanottu *muovikalvotesti*. Tässä menetelmässä periaatteena on testata, tiivistyykö betonilattian pintaan tietyksi ajaksi teipatun tiiviin muovikalvon alle kosteutta. Jos kalvon alapintaan on tiivistynyt kosteutta tai betonin pinta on tummentunut kalvon oltua paikallaan tietyn ajan, betonia voidaan pitää liian kosteana. Esimerkiksi American Concrete Instituten julkaisun (ACI 302) mukaan menetelmä oli käytännöllinen ja riittävä aikoina, jolloin liimat kestivät nykyistä paremmin kosteutta. Nykyisin ACI:n mielestä menetelmä johtaa liian helposti virheelliseen johtopäätökseen. Harrimanin (1995) mukaan muovikalvotesti on nopea, helppo, ainetta rikkomaton ja halpa keino selvittää onko betonilattiassa liiallista kosteutta, mutta myös hän mainitsee, että se voi kuitenkin johtaa helposti virheelliseen tulokseen. Vaikka menetelmää ei enää pidetä riittävän luotettavana, se on esimerkiksi Yhdysvalloissa standardoitu (*ASTM E 1907 and D 4263, Standard Test Method for Indicating Moisture in Concrete by the Plastic Sheet Method*). Suomessa ammattilaisten keskuudessa menetelmää ei juurikaan enää käytetä. Testausmenetelmään kuitenkin viitataan edelleen joidenkin lattianpäällystemateriaalivalmistajien suomalaisissa asennusohjeissa esimerkiksi seuraavasti:

”Kotikonsti” aluslattian oikean kosteuden toteamiseksi on levittää noin 1 m²:n muovikalvo vuorokaudeksi tiiviisti lattian päälle reunat teippaamalla. Muovikalvon alle lattian (betonin) pintaan kerääntyvä kosteus on merkinä haihtumaan pyrkivästä liiallisesta kosteudesta, eikä asennustyötä tällöin saa aloittaa. Tarkat aluslattian kosteusarvot saadaan käyttämällä ammattitaitoisten parkettiasentajien asianmukaisia kosteusmittareita. (www.timberwise.fi/installation, luettu 30.11.2007).

Mikäli tarkkoja kosteusmittareita ei ole käytössä, voidaan kosteus testata teippaamalla n. 1 m² suuruinen muovikalvo tiiviisti betonilattiaa vasten 4 - 5 päiväksi. Mikäli kondenssivettä muodostuu tänä aikana kalvon alapinnalle tai betonin väri tummenee, on asennusalueen kosteus liian korkea parketin asentamiselle. (www.kareliaparketti.fi, luettu 17.11.2007).

SisäRYL 2000 julkaisussa vaaditaan, että alustabetonin kosteus tulee todeta suhteellisen kosteuden perusteella. Mittaus ohjeistetaan tekemään RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* ohjekortin mukaisesti betoniin poratusta reiästä. Aikaisemmissa RYL 81 ja RYL 91 julkaisuissa betonilattian kosteus neuvottiin mittaamaan suhteellisen kosteuden lisäksi vaihtoehtoisesti myös painoprosenttikosteutta määrittävällä karbidimittarilla tai punnitus-kuivatusmenetelmällä. Nämä menetelmät mainitaan edelleen joidenkin päällystemateriaalien asennusohjeissa mahdollisina mittausmenetelminä esimerkiksi seuraavasti:

Alustan kosteusprosentti saa olla korkeintaan 3,3 % 2 cm:n syvyydestä mitattuna (karbidimenetelmä), suhteellinen kosteus < 85 %. (www.freudenberg.sci.fi, luettu 8.11.2007).

Käytännössä betonilattian kosteutta mitataan myös erilaisilla betonin sähköisiä ominaisuuksia havainnoivilla laitteilla kuten niin sanotuilla pintakosteusmittareilla ja vastusmittareilla. Näitä mittalaitteita ei juurikaan suositella suomalaisissa betonilattian päällystämiseen liittyvissä ohjejulkaisuissa. Joidenkin mittalaitteiden valmistajien ja maa-

hantuojen ilmoitusten mukaan ne kuitenkin soveltuvat myös päällystettävyyssosteuden mittaamiseen.

5.1.1 BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS

Betonilattian suhteellinen kosteus voidaan mitata betoniin poratusta reiästä, betonista otetusta näytepalasta tai betonilattian pintaan tiivistetystä kuvusta. Mittauksissa käytettävä suhteellisen kosteuden mittapää koostuu yleensä lämpötila- ja kosteusanturista. Kosteusanturit voivat olla toimintaperiaatteiltaan esimerkiksi resistiivisiä, kapasitiivisiä tai elektrolyytin sähkönjohtavuuteen perustuvia (Nilsson et al. 2005, s. 25).

Porareikämittaus (kuva 25A) on Suomessa ja muissa Pohjoismaissa yleisimmin käytetty ja monin paikoin ainoa hyväksytty menetelmä betonilattian kosteustilan määrittämiseksi. Menetelmässä betoniin porataan kuivamenetelmällä reikä sille syvyydelle, josta kosteus halutaan määrittää. Porauksen jälkeen reikä puhdistetaan porauspölystä ja suljetaan tiiviisti. Ennen varsinaista mittaus reiän annetaan tasaantua useampia vuorokausia (3-7), kunnes kosteustasapaino mittausreiän ja mitattavan betonin välillä on saavutettu. Varsinainen kosteus- ja lämpötilamittapää voidaan asentaa mittausreikään heti puhdistamisen ja tiivistämisen jälkeen tai vasta porareian tasaannuttua. Tällöin asennuksen jälkeen tulee odottaa, että myös mittapää saavuttaa tasapainon reiässä vallitsevan kosteuden ja lämpötilan kanssa. Porareian valmisteluun ja mittapäiden tasaantumisaikoihin liittyvissä ohjeissa ja käytännöissä on eroja. Kaiken kaikkiaan betonin suhteellisen kosteuden mittaukseen liittyy useita epävarmuustekijöitä, jotka mittauksessa sekä tulosten tulkinnassa tulee ottaa huomioon. Mittauksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa (Sjöberg 1998):

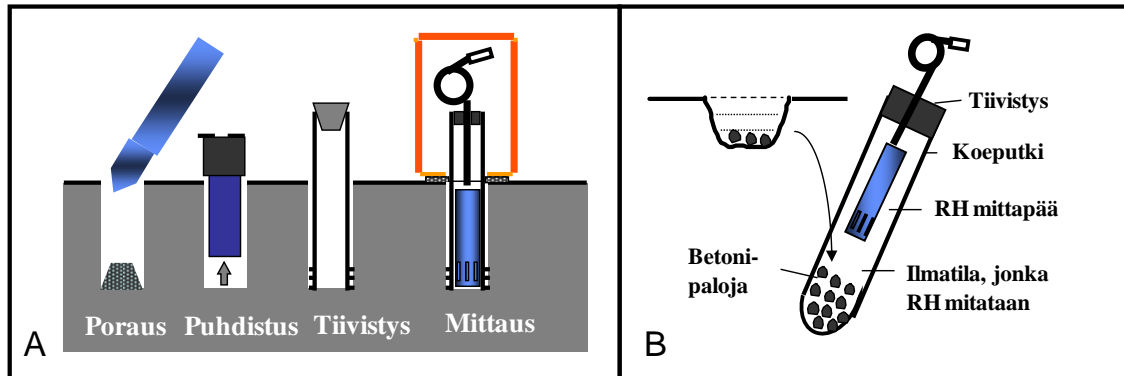
- porareian syvyys, puhdistus, tiivistys ja tasaantuminen
- mittalaitteen kalibrointi ja muu kunto
- mittalaitteen tasaantumisaika
- ympäröivän ilman lämpötila ja sen vaihtelut mittauksen aikana
- betonin lämpötila ja sen vaihtelu mittauksen aikana.

Porareikämittaukseen liittyviä epävarmuustekijöitä on käsitelty tarkemmin luvussa 6.

Näytepalamenetelmä (kuva 25B) käytettäessä betonin suhteellinen kosteus mitataan betonirakenteesta tietyltä syvyydeltä otetuista betonipaloissa, jotka on laitettu yhdessä suhteellisen kosteuden mittapään kanssa tiiviiseen koeputkeen (Nilsson 1979, s. 70). Betonipaloja ja kosteusmittapään sisältävän koeputken annetaan tasaantua vakiolämpötilassa yleensä seuraavaan päivään tai kunnes tasapaino on saavutettu (Nilsson 1979, s. 40). Säilytyslämpötila on yleensä + 20 °C. (Nilsson 1979; Sjöberg 1998; Merikallio 2002).

Näytepalamenetelmää pidetään porareikämenetelmää luotettavampana, koska porauksen vaikutuksen ja lämpötilan aiheuttamat mittausepätaarkkuudet ovat vähäisemmät. Menetelmään liittyy kuitenkin joitakin epävarmuustekijöitä. Esimerkiksi jos mittapään kosteuskapasiteetti on liian suuri ja kosteiden betonipalojen määrä taas puolestaan liian pieni, suhteellisen kosteuden arvo voi jäädä todellista alhaisemmaksi. Mittapään epätiiviy-

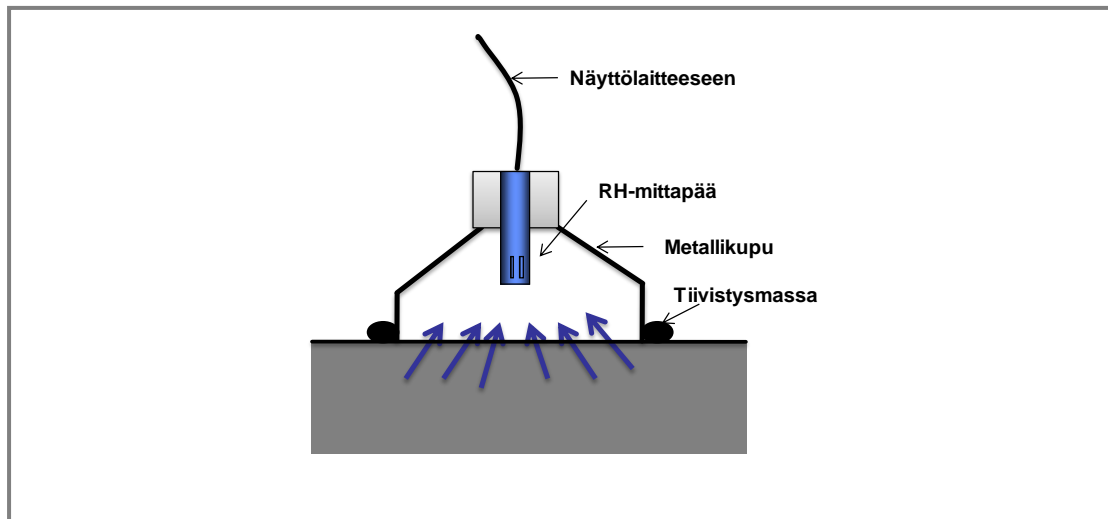
(vuoto mittapään vartta pitkin) tai mittapään ja koeputken välisen tiivistyksen vaillinaisuus voivat myös johtaa liian alhaiseen suhteellisen kosteuden arvoon. Lisäksi betonipalat tulee ottaa oikealta syvyydeltä. (Sjöberg 2001).



Kuva 25. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen rakenteeseen poratusta reiästä (A) ja näytepalamenetelmällä (B). (Lumme et al. 1997).

Kupumenetelmä (The RH in Insulated Hood -method) ei ole yleisessä käytössä Suomessa eikä muissa Pohjoismaissa, mutta esimerkiksi Uudessa-Seelannissa, Iso-Britanniassa ja joissakin Keski-Euroopan maissa sitä käytetään laajasti (Kanare 2005, 49). Kupumenetelmää käytettäessä suhteellinen kosteus mitataan rakenteen pintaan asetetun tiiviin kuvun tai laatikon sisältä suhteellisen kosteuden mittapäällä (kuva 26). British Standard BS 8201:1987 mukaan mittapään tulee tasaantua kuvun sisällä vähintään 72 tuntia ennen ensimmäisen lukeman ottoa. Tasapaino on saavutettu, kun kahden peräkkäisen, 24 tunnin välein otetun, kosteusarvon ero on mittalaitteen tarkkuuden asettamissa rajoissa (yleensä ± 3 % RH). Lämpötilamuutoksilla ja erityisesti mittalaitteen ja betonin pinnan välillisillä lämpötilaeroilla on suuri vaikutus mittaustulokseen (Nilsson 1979, s. 26).

British Standardin mukaiset alusta betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot ovat ainakin tekstiili-, muovi- ja puupäällysteille 75 % RH (BS5325:2002, BS8203:1996, BS8201:1987). Kun Suomeen tuodaan päällystemateriaaleja maasta, missä betonin kosteusmittaus tehdään kupumenetelmällä, materiaalivalmistaja voi edellyttää alustabetonilta alle 75 % suhteellisen kosteuden arvoa ottamatta huomioon, että Suomessa käytettävä mittausten menetelmä on erilainen.



Kuva 26. Esimerkki betonilattian kosteuden mittauksesta suhteellisen kosteuden mittarilla rakenteen päälle asetetusta kuvusta niin sanotulla kupumenetelmällä (Nilsson 1979, s. 27).

5.1.2 PAINOPROSENTTIKOSTEUTTA MÄÄRITTÄVÄT MENETELMÄT

Jotkut päällysmateriaalivalmistajat ilmoittavat tuotteensa edellyttämän alustabetonin kosteusraja-arvon painoprosenteina (p-%). Tällöin kosteusmittaus tulisi tehdä menetelmällä, joka antaa tuloksen painoprosenteina. Tällaisia menetelmiä ovat muun muassa punnitus-kuivatusmenetelmä ja kalsiumkarbidimenetelmä. Myös jotkut sähköisiin ominaisuuksiin perustuvat mittalaitteet, kuten esimerkiksi niin sanotut pintakosteusmittarit, voivat ilmoittaa mittaustuloksen painoprosenteina.

Punnitus-kuivatusmenetelmällä voidaan määrittää betonin sisältämä haihtumiskykyisen kosteuden määrä. Menetelmä vaatii mittalaitteeksi poran tai piikkausvälineet, vaa'an sekä lämpökaapin. Kosteuspitoisuuden määrittystä varten betonirakenteesta irrotetaan halutulta syvyydeltä kuivamenetelmällä, esimerkiksi piikkaamalla, betoninäytteitä. Näytteet tulee laittaa välittömästi irrotuksen jälkeen tiiviiseen pussiin tai astiaan kosteuden haihtumisen estämiseksi. Kosteat näytteet (m_{wet}) punnitaan, minkä jälkeen niitä kuivatetaan lämpökaapissa, yleensä 105 °C:n lämpötilassa, kunnes näytteen painomuutos on vähemmän kuin 0,1 % (by31/BLY4, s. 115). Kun näytteestä haihtuneen veden paino ($m_{\text{wet}} - m_{\text{dry}}$) jaetaan näytteen kuivapainolla (m_{dry}), saadaan määritetty betonin kosteuspitoisuus u painoprosenteina kuivapainosta seuraavan kaavan mukaisesti:

$$u = [(m_{\text{wet}} - m_{\text{dry}}) / m_{\text{dry}}] \times 100 \%$$

Punnitus-kuivatusmenetelmää ei juurikaan käytetä uudisrakennustyömailla ja myös vauriotutkimuksissa sen käyttö on vähäistä. Näytteiden ottoa pidetään raskaana ja itse kuivatustyö vaatii aikaa ja huolellisuutta. Myös näytteiden otto vaatii erityistä huolellisuutta.

ta; esimerkiksi suuri määrä runkoainetta (kiviä) pienessä näytteessä voi johtaa virheelliseen tulokseen (Harriman 1995). Menetelmää on käytetty lähinnä erilaisten betonin kuivumistutkimusten yhteydessä. Useiden kosteusmittauslaitteiden kuten esimerkiksi kalsiumkarbidimittarin ja pintakosteusmittareiden painoprosentteina ilmoittama mittaustulos perustuu laboratoriotutkimuksiin, joissa mittalaitteiden näyttö on kalibroitu punnitus-kuivatusmenetelmällä saadun betonin kosteuspitoisuuden kanssa.

Kalsiumkarbidimenetelmässä kosteuspitoisuuden mittauslaitteena toimii painemittarilla varustettu tiiviisti suljettava teräspullo eli karbidimetri (Kille et al. 2005, s. 92). Mittauksessa betonista otetaan näytepaloja, jotka punnitaan ja laitetaan koepulloon (kuva 27). Lisäksi pulloon laitetaan kalsiumkarbidia (CaC_2) sisältävä lasiampulli ja teräskuulia. Tiivistä suljettua pulloa ravistetaan tietty aika, jolloin lasiampulli hajoaa ja kalsiumkarbidi pääsee reagoimaan betonissa olevan kosteuden kanssa. Betonin kosteuden ja kalsiumkarbidin reaktiossa syntyneen asetyleenikaasun ($\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca(OH)}_2$) paine mitataan pullon korkissa olevan painemittarin avulla (Nilsson 1979, s. 19). Paine-lukemat voidaan muuttaa mittalaitteen valmistajan laatiman taulukon avulla painoprosentteina ilmoitetuksi kosteusarvoksi (by31, s. 115). Karbidimittauksen etuna on sen nopeus, sillä tulokset saadaan heti mittauksen jälkeen työmaalla.

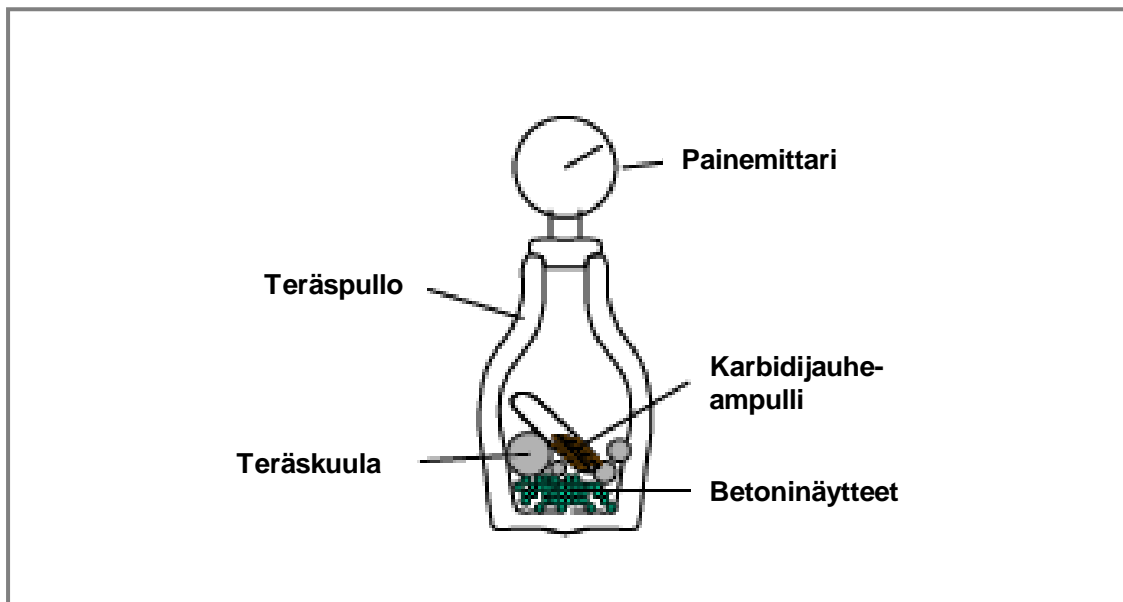
Sekä kalsiumkarbidimittausmenetelmässä että punnitus-kuivatusmenetelmässä merkittävän ongelmana on tulosten tulkinta. Suomessa monet kriittiset kosteusarvot ilmoitetaan suhteellisenä kosteutena, mikä esimerkiksi karbidimittausta käytettäessä edellyttäisi painoprosenttikosteuden muuttamista edelleen suhteelliseksi kosteudeksi. Muutosta tehdessä tulisi tuntea betonin tasapainokosteuskäyrä. Tällöin ongelmana on betonilaatujen lukuisa määrä. Periaatteessa jokaiselle betonireseptille tulisi määrittää oma tasapainokosteuskäyrä. Reseptien suuresta määrästä johtuen ei tasapainokäyriä useinkaan ole tiedossa (Häkkä-Rönholm et al. 1999). Jokaisen betonin tasapainokosteuskäyrä on erilainen ja lisäksi käyrät saattavat muuttua hyvinkin paljon esimerkiksi betonin iän mukana. Tasapainokosteuskäyrien laatiminen jokaiselle betonilaadulle on käytännössä mahdoton tehtävä.

Kaiken kaikkiaan betonin painoprosentteina ilmoitetun kosteuspitoisuuden muuttaminen suhteelliseksi kosteudeksi tai päinvastoin johtaa helposti virheelliseen tulokseen. Sama kosteuspitoisuus painoprosentteina voi jollakin betonilla tarkoittaa hyvinkin korkeaa suhteellista kosteutta, kun taas jollakin toisella betonilla se voi tarkoittaa alhaista kosteutta.

Nieminen et al. (1990) esittää VTT:n tutkimusraportissa 1129 tuloksia kenttäkokeesta, jossa vertailtiin VTT:n ja päällystystyön suorittaneen lattianpäällystysliikkeen kosteusmittauksia. Samasta mittauskohdasta perättäisinä päivinä tehdyissä mittauksissa VTT sai porarei’istä mitattuna betonin suhteellisen kosteuden arvoksi 83 – 86 % ja punnitus-kuivatusmenetelmällä 5,2 - 5,6 p-%. Lattianpäällystysliike arvioi betonin kosteudeksi pintakosteusmittauksen perusteella 3,9 p-% ja karbidimittauksella 5,7 p-% (Nieminen et al. 1990, s. 18). Betonilattioiden päällystysohjeiden (by12/1981, s. 40) muunnoskosteuskäyrien mukaan 5,2 - 5,6 p-% kosteutta sisältävän betonin suhteellinen kosteus on noin 97 %.

Betonilattioiden päällystettävyysskosteutta karbidimittauksella arvioitaessa ongelmana on myös mittaussyvyys. Karbidimittauksessa mittausta tehdään yleensä 1 - 2 cm syvyydestä (Siro et al. 1980, 38). Kuivumisen seurauksena kosteuspitoisuus rakenteen pintaosissa voi muuttua jyrkästi, minkä seurauksena mittaustulos voi olla hyvinkin erilainen riippuen näytepalojen ottosyvyydestä. (Littmann et al. 2000).

Betonin painoprosenttikosteutta mittaavien menetelmien käyttö on yleistä varsinkin Saksassa ja muissa Keski-Euroopan maissa. Suomessa betonilattioiden päällystämiseen tai pinnoittamiseen liittyvissä ohjeissa karbidimittauksen käyttöä ei ole suositeltu käytettävän enää 1990-luvulla (Häkkä-Rönholm et al. 1999). Tästä huolimatta monet suomalaiset lattianpäällysteasentajat käyttävät sitä edelleen ja mittaumenetelmä on mainittu joidenkin materiaalivalmistajien asennusohjeissa. Esimerkiksi Keski-Euroopasta Suomeen tulevien lattianpäällystemateriaalien asennusohjeissa alustabetonin kosteusvaatimus saatetaan ilmoittaa painoprosentteina.



Kuva 27. Betonin kosteuspitoisuuden mittaaminen kalsiumkarbidimittauksella. Betoninäytteet laitetaan teräspulloon yhdessä karbidijauhetta sisältävän lasiampullin ja pulloa ravistettaessa ampullin hajottavien teräskuulien kanssa. Pullon korkissa oleva painemittari ilmoittaa reaktiossa syntyneen paineen lukeman, joka voidaan muuttaa taulukon avulla kosteuspitoisuudeksi painoprosentteina. (Nilsson et al. 2005, s.16).

Vuonna 1990 julkaistussa VTT:n tiedotteessa 1129 *Betonirakenteiden kosteusmittaus työmaaolosuhteissa ja päällystettävyyysvaatimukset* (Nieminen et al. 1990, s. 20) todetaan seuraavasti:

Karbidimittarilla voidaan huolellisella mittauksella saada selville betonin kosteuspitoisuus. Koska betonin tasapainokosteudet vaihtelevat ja lattian päällysteiden kosteudenkesto ilmoitetaan yleensä suhteellisen kosteuden avulla, voi tuloksen tulkinta pinnoittamista silmällä pitäen olla vaikeaa.

Lattian- ja seinänpäällysteliitto julkaisi vuonna 1999 *Lattiapäällystealan työohjekortin*, jonka ensisijaisena tavoitteena on toimia työntekijän käytännön tukena työsuorituksessa. Maaliskuussa 2003 päivitetty lattiapäällystealan työohjekortin kohdassa kosteusmittaus betonista (ohjekortti 81) mainitaan karbidimittausmenetelmästä seuraavasti:

Karbidimittausmenetelmä on oikein suoritettuna luotettava betonin kosteuden mittausmenetelmä.

Vuonna 1989 julkaistussa *Rakennustöiden yleisissä laatuvaatimuksissa RYL90* ohjeistetaan painoprosentteina mitatun kosteuden muuttaminen suhteellisen kosteuden arvoksi. SisäRYL 2000:ssa ohjeistusta ei enää ole.

Karbidimittauksen soveltuvuutta betonilattian kosteuden mittaamiseen on kritisoitu Ruotsissa jo 1960-luvun lopulla ja menetelmää ehdotettiin korvattavaksi aluksi suhteellisen kosteuden mittauksella betonilattian pintaan laitetun kuvun sisältä niin sanotulla kupumenetelmällä (Adamsson et al. 1970). Vuonna 1979 julkaistussa tutkimusraportissa *Fuktmätning del 2 av byggfukt i betongplatta på mark, torknings- och mätmetoder* Nilsson esittää, että betonilattian kosteuspitoisuuden mittaaminen painoprosentteina tulisi korvata betonin huokosten suhteellisen kosteuden mittaamisella (Nilsson 1979, s. 45).

5.1.3 MUUT KOSTEUSMITTAUSMENETELMÄT

Betonin sähköiset ominaisuudet muuttuvat betonin kosteuspitoisuuden muuttuessa. Esimerkiksi betonin sähkönjohtavuus kasvaa kosteuspitoisuuden noustessa. Niin sanotussa *vastusmittauksessa* betonirakenteen kosteustilaa voidaan arvioida mittaamalla tunnetulla etäisyydellä olevien joko rakenteen pinnassa olevien tai rakenteeseen upotettujen elektrodien välinen vastus. Jälkimmäisessä tapauksessa betoniin porataan tietyn välimatkan päähän toisistaan kaksi reikää, jotka täytetään sähkönjohtavalla geelillä. Lisäksi kumpaankin reikään laitetaan metallipuikot, joiden avulla mitataan reikien välisen betonin sähkönjohtavuus (kuva 28 A). Mitattu vastus voidaan edelleen muuttaa kalibrointikäyrien avulla kosteuspitoisuudeksi (Nilsson 1979, s. 22).

Tunnetuimpia betonin sähköisten ominaisuuksien mittaamiseen perustuvia kosteusmittauslaitteita ovat niin sanotut pintakosteudenosoittimet, joita yleisesti kutsutaan *pinta-kosteusmittareiksi*. Mittauksessa betonirakenteen pintaan painettavien pintakosteusmittarien toiminta perustuu mitattavan materiaalin vesipitoisuuden muuttuessa tapahtuviin materiaalin sähköisten ominaisuuksien (sähkönjohtavuus, kapasitanssi, dielektrisyys)

muutoksiin. Mittaus tehdään ainetta rikkomattomasti rakenteen pinnalta, mitä mittauksen nopeuden lisäksi voidaan pitää menetelmän suurimpana etuna (kuva 28 B).

Pintakosteusmittareita on useita erilaisia. Laitteen valmistajan toimesta mittalaitteisiin on yleensä asetettu valmiiksi joidenkin materiaalien tiettyjä sähköisiä ominaisuuksia vastaavat kosteuspitoisuudet painoprosenteina. Eri laitteiden välillä voi olla suuriakin eroja. Toimintaperiaatteeltaan samanlaiset eri mittalaitteet voivat antaa samasta kohdasta mitattaessa eri lukuarvoja. (Merikallio 2000).

Betonirakenteen kosteustilaa sähköisillä menetelmillä arvioitaessa suurimpana ongelmana on se, että kosteuden lisäksi monet muut betonin ominaisuudet, kuten esimerkiksi sementtimäärä, hydratoitumisaste, alkalisuus ja lisäaineet, voivat vaikuttaa betonin sähköisiin ominaisuuksiin (Nilsson 1979, s. 23; Kanare 2005, s. 45). Esimerkiksi, jos kahden eri vesi-sideainesuhteen omaavan betonin suhteellinen kosteus on sama, pintakosteusmittaus voi antaa korkeampia kosteuslukemia suuremman sementtimäärän sisältävästä betonista (Merikallio 2002). Lisäksi raudoitteet ja muut sähkönjohtavuuteen vaikuttavat komponentit voivat antaa virheellisen tuloksen (Häkkä-Rönholm et al. 1999; Nieminen et al. 1990). Valmistajan antamiin muunnostaulukoihin, esimerkiksi lukemien muuttaminen painoprosenteiksi tai suhteelliseksi kosteudeksi, on suhtauduttava varauksella. Taulukoita ei mieluummin tulisi käyttää lainkaan (Asumisterveysopas 2005, s. 46).

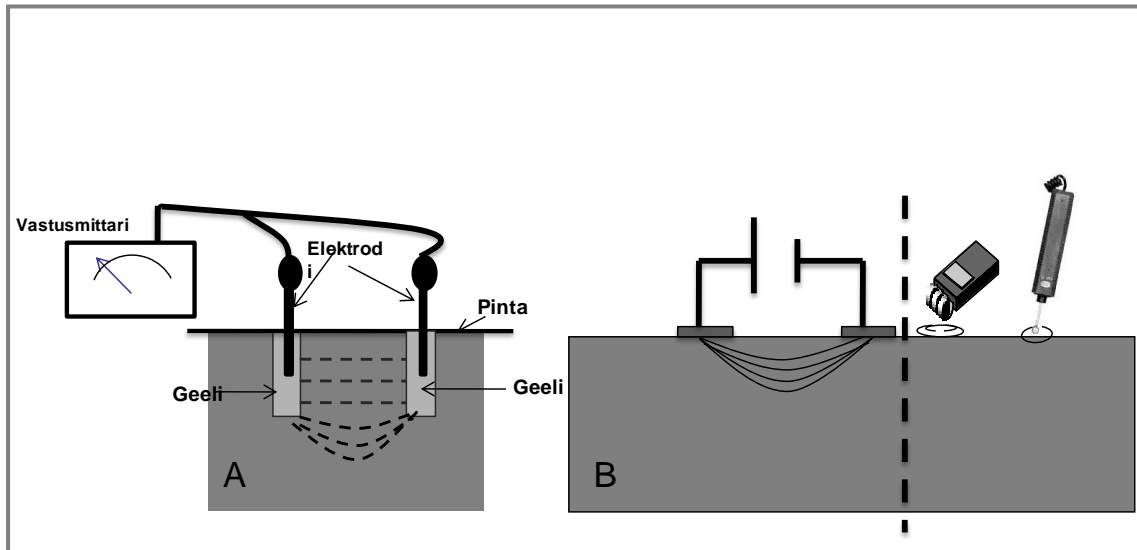
Pintakosteusmittaukseen liittyviä häiriötekijöitä ovat edellä mainittujen tekijöiden lisäksi muun muassa mittajaan tapa käsitellä laitetta, pinnan epätasaisuus ja laitteen toimintahäiriöt (Asumisterveysopas 2005, s. 45). Mittaussyvyyden määrittäminen on pintakosteusmittarilla yleensä mahdotonta (Nilsson 1979; Häkkä-Rönholm et al. 1999). Useimmat laitteet havainnoivat kosteutta vain muutaman senttimetrin syvyydeltä rakenteen pintaosassa. Edellä mainituista tekijöistä johtuen pintakosteusmittausta ei suositella betonilattioiden päällystettävyydskelpoisuuden määrittämiseen (Nilsson 1979; ACI 302; Nieminen et al. 1990; Lumme et al. 1997).

Vaikka pintakosteusmittareiden käyttöä betonilattioiden päällystettävyydskosteuden määrittämiseen ei ole suositeltu Suomessa käytettäväksi ainakaan pariin kymmeneen vuoteen, löytyy muun muassa Internetistä (marraskuussa 2007) mittalaittevalmistajien ilmoituksia, joissa pintakosteusmittareita esitetään soveltuvaksi betonilattioiden kosteuden mittaamiseen esimerkiksi seuraavasti:

CONCRETE MOISTURE ENCOUNTER antaa sinulle välittömästi kosteuspitoisuuden lukeman välillä 1-7 %, joten voit tehdä tarkkaan tietoon perustuvan päätöksen lattiapäällysteen asentamisesta. (www.fattore.fi/ohjeet, luettu 30.11.2007).

Pintakosteusmittareita voidaan käyttää ainoastaan suuntaa-antavina ja eri mittauskohtien keskinäisessä vertailussa. Mittalaitetta käytetään muun muassa kosteampien alueiden paikantamiseen (Asumisterveysopas 2005). Vaikka menetelmää pidetään yleisesti epäluotettavana antamaan riittävä kuva betonirakenteen kosteustilasta, käytetään sitä varsin paljon etenkin kosteusvauriotutkimusten yhteydessä. Tämän tutkimuksen yhteydessä tarkastettiin 450 kappaletta Vakuutusyhtiö Tapiolalle tullutta vesivahinkokartoitusra-

porttia. Näistä 150 tapauksessa oli tehty betonilattioiden kosteusmittauksia, joista kolmasosassa (55 kohteessa) mittaus oli tehty käyttäen vain pintakosteusmittaria. Useimmissa tapauksissa selvitys tehtiin sekä pintakosteusmittarilla että mittaamalla betonirakenteen välissä tai alla olleen eristetilan suhteellinen kosteus. Vain 17 tapauksessa (11 %:ssa) mitattiin betonin suhteellinen kosteus joko porareikä- tai näytepalamenetelmällä. Jokaisessa tarkastetussa kohteessa betonilattiarakenne määrättiin kuivatettavaksi.



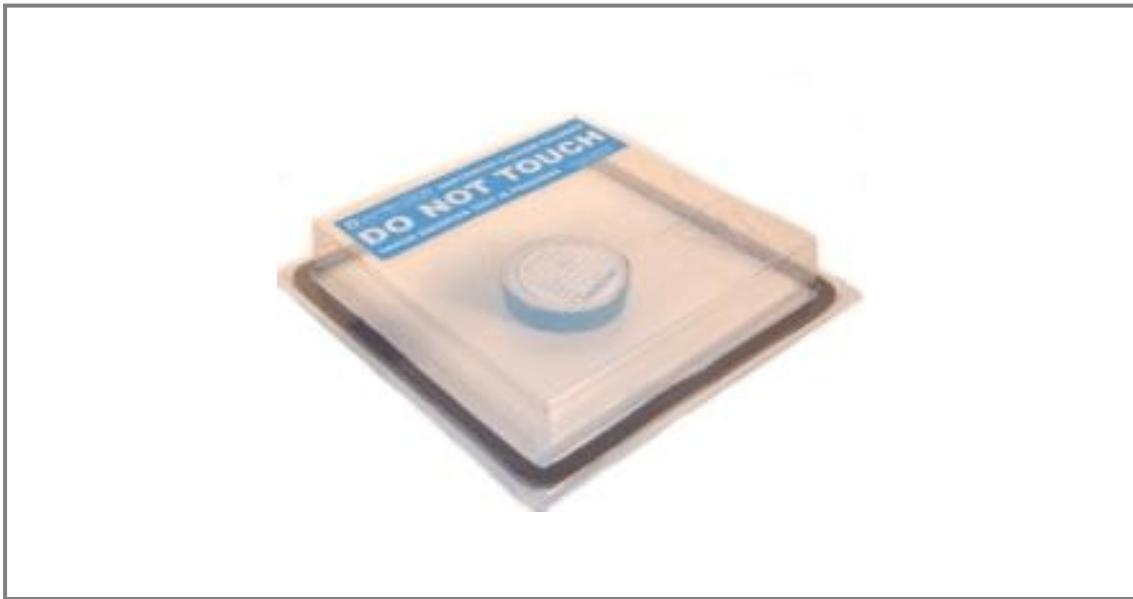
Kuva 28. Periaatekuva betonin kosteusmittauksesta vastusmenetelmällä (A), missä vastus mitataan tunnetulla etäisyydellä olevien kahden elektrodien välillä, sekä betonin kosteuden mittaamisesta pintakosteusmittarilla (B).

Erityisesti Yhdysvalloissa yleisesti käytetty ja ASTM standardissa F1869-04 esitettävä menetelmä määrittää betonilattian riittävää kuivumista ennen päällystyöhön ryhtymistä on niin sanottu *kalsiumkloriditesti* (*The Calcium Chloride test*), jota kutsutaan toimintatapansa vuoksi myös vesihöyrynhaihtumisnopeustestiksi (*The Moisture Vapor Emission Rate test*). Menetelmä mittaa betonirakenteesta tietyssä ajassa tiettyä pinta-alaa kohden haihtuneen vesihöyryn määrän. Yhdysvalloissa tulos ilmoitetaan haihtuneen veden määränä paunoina tuhatta neliöjalkaa kohden 24 tunnin aikana (lbs./1000 sq.ft./24 h).

Mittauslaite koostuu kalsiumkloridia sisältävästä tiiviistä ja kannellisesta muovirasiasta sekä betonirakenteen pintaan tiiviisti asennettavasta läpinäkyvästä vesihöyryntiiviistä muovilaatikosta (kuva 29). Mittausta tehdessä ensimmäiseksi punnitaan kalsiumkloridia sisältävän rasian paino. Sitten rasian kansi avataan ja rasia laitetaan testattavan betonilattian pintaan, minkä jälkeen rasian päälle laitetaan tiivis muovilaatikko. Noin 72 tunnin kuluttua laatikkoon leikataan reikä, mitä kautta kalsiumkloridia sisältävä rasia voidaan poistaa. Poistamisen jälkeen rasia suljetaan välittömästi kannella ja punnitaan uudelleen. Betonista haihtuneen vesihöyryn määrä voidaan nyt laskea perustuen kalsium-

kloridia sisältävän rasian painon lisääntymiseen, testausaikaan ja rasian päällä olleen tiiviin muovilaatikon pinta-alaan (ACI 302; Harriman 1995; Suprenant et al. 2000).

Yhdysvalloissa useimmat lattianpäällystemateriaalien ja liimojen valmistajat ilmoittavat tuotekohtaisesti, mikä alustabetonin vesihöyryn haihtumisnopeus (emissio) saa enimmillään olla kalsiumkloriditestia käytettäessä. Sallitut arvot vaihtelevat riippuen päällystemateriaalityypistä ja materiaalivalmistajasta (Kanare 2005, Suprenant 2003). Useimmat päällystemateriaalivalmistajat ilmoittavat, että heidän tuotettaan ei saa asentaa, jos vesihöyryn emissio on suurempi kuin 3 lbs./1000 sq.ft./24 h, kun taas joillakin toisilla vastaava arvo on 5 lbs./1000 sq.ft./24 h. Vaikka ASTM standardin mukaiset testit yleensä välttävät ilmoittamasta mitään tiettyjä lukuarvoja, ASTM F170 standardissa *Standard Practice for Preparing Concrete Floors to Receive Resilient Flooring* löytyy maininta, että betonia voidaan pitää riittävän kuivana, kun vesihöyryn emissio ei ole yli 3 paunaa. Harrimanin (1995) mukaan betonilattiaa voidaan pitää erittäin märkänä, kun haihtuvan vesihöyryn määrä on enemmän kuin 10 lbs./1000 sq.ft./24 h (50 g/m²/24 h). Käytännön kohteista on löydetty jopa arvoja 22 lbs./1000 sq.ft./24 h (110 g/m²/24 h).



Kuva 29. Betonista tietyssä ajassa haihtuvan vesihöyryn määrän mittaamiseen löytyy Yhdysvalloista valmiita settejä, jotka koostuvat testattavan betonilattian pintaan tiiviisti laitettavasta läpinäkyvästä muovilaatikosta sekä laatikon sisään laitettavasta kalsiumkloridia sisältävästä muovirasiasta. (www.vaportest.com, 24.6.2008).

Kanaren (2006, s. 47) mukaan kalsiumkloriditestillä määrittää vain betonirakenteen pintaosista parin ensimmäisen senttimetrin syvyydeltä haihtuvan kosteuden eikä siten huomioi syvemmillä rakenteissa olevaa kosteutta eikä kerro riittävässä määrin, miten kosteus käyttäytyy rakenteessa pitkän ajan kuluessa. Kanare (2006) myös painottaa, että kalsiumkloriditestin antaessa tulokseksi korkeita arvoja on selvää, ettei lattia ole päällystettävissä. Alhaiset arvot indikoivat kuitenkin vain, että rakenteen pintaosat saattavat olla sallitulla tasolla.

Craig et al. (2006) mainitsevat, että erilaiset betonin pinnassa mahdollisesti olevat jälkihoitoaineet voivat merkittävästi alentaa kalsiumkloriditestin tuloksia ja tulokset voivat muuttua, kun aineet on hiottu pois. Jos testi tehdään ennen kuin ovet ja ikkunat on asennettu ja lämpö on kytketty päälle, tulos voi olla erilainen kuin jos testi tehdään lämmön ollessa päällä. Jos betonilattian lämpötila nousee testaamisen tai päällysteiden asentamisen jälkeen, kosteuden haihtumisnopeus lattiasta kasvaa (Craig et al. 2006).

Suomessa kalsiumkloriditestillä tai muita kosteuden haihtumisnopeuteen perustuvia testejä määrittää betonirakenteen riittävä kuivuminen ei yleisesti käytetä.

5.2 KOSTEUSMITTAUSMENETELMÄN VAIKUTUS BETONILATTIAN VAADITTAVAAN KUIVUMISAIKAAN

Alustabetonin suurimman sallitun kosteuden lisäksi monissa betonilattian päällystämiseen liittyvissä ohjeissa on mainittu suositeltava kosteusmittausmenetelmä. Uusimmissa suomalaisissa betonilattioiden päällystämiseen liittyviä ohjeita sisältävissä julkaisuissa neuvotaan määrittämään betonilattian kosteus tila mittaamalla betonin huokostilan suhteellinen kosteus. Joidenkin lattianpäällysmateriaalien asennusohjeissa kosteusraja-arvot ilmoitetaan painoprosenteina ja näin ollen myös mittaus tulee tehdä menetelmällä, joka antaa tuloksen kyseisenä yksikkönä. Materiaalivalmistajien ilmoittamien kosteusraja-arvojen yksiköt (% RH, p-%) ja suositeltavat mittausmenetelmät voivat vaihdella myös eri maiden välillä. Esimerkiksi saksalaisten päällystemateriaalien kosteusraja-arvot ovat usein painoprosenteina (p-%). Iso-Britanniassa kosteusraja-arvot ilmoitetaan yleensä suhteellisenä kosteutena eli yksikkö on sama kuin useissa suomalaisissa ohjeissa. Iso-Britanniassa käytettävä mittausmenetelmä (kupumenetelmä) on kuitenkin eri kuin Suomessa.

Muun muassa Laitinen et al. 2004 (kuva 30) sekä Niemi et al. 1999 (kuva 31) ovat tehneet vertailevia kosteusmittauksia samasta betonilaatasta eri mittausmenetelmää käyttäen. Verrattaessa edellä mainittujen tutkimusten tuloksia kuvassa 23 esitettyyn 110 mm paksun laatan kuivumiskäyrään, voidaan seuraavien esimerkkien 1 - 3 valossa havaita, että saman lattiarakenteen vaadittava kuivumisaika voi vaihdella useita viikkoja riippuen siitä, millä menetelmällä kosteusmittaus tehdään.

Esimerkki 1:

Noin 110 mm paksu maanvarainen (yhteen suuntaan kuivuva) betonilaatta tullaan päällystämään kelluvalla lautaparketilla parkettivalmistajan ohjeen mukaan. Tuotteen asennusohjeessa (www.kareliaparketti.fi, luettu 30.11.2007) lukee seuraavasti: “ Tarkista, että alusta on riittävän kuiva, max. 80 % suhteellista kosteutta tai max. 3,0 paino-%.” Ohjeessa ei ole mitään mainintaa kosteusmittausmenetelmästä.

Jos lattiarakenteen riittävä kuivuminen varmistetaan mittaamalla betonin suhteellinen kosteus RT 14-10675 ohjekortin mukaisesti porareiästä 40 % syvyydeltä rakenteen paksuudesta, tarkasteltava rakenne saavuttaa vaadittavan alle 80 % arvon noin 34 viikon kuivumisen jälkeen (kuva 23).

Laitisen et al. (2004) tutkimusten mukaan (kuva 30) betonin suhteellisen kosteuden ollessa 90 %, kosteuspitoisuus painoprosenteina on selvästi alle 3 % samalta syvyydeltä mitattaessa. Jos kyseisen lattiarakenteen riittävä kuivuminen määritetäänkin nyt 2 cm syvyydeltä kalsiumkarbidimittarilla ja oletetaan, että 3 painoprosentin arvo alitetaan, kun betonin suhteellisen kosteus 2 cm syvyydellä on alle 90 %, vaadittava kuivumisaika on vain noin 3 viikkoa (kuva 23). Jos vastaava kalsiumkarbidimittaus tehdään syvemmältä rakenteesta (45 mm syvyydeltä), vaadittava kuivumisaika on noin 8 viikkoa.

Näin ollen kyseisen esimerkkirakenteen vaadittava kuivumisaika voi vaihdella 3 viikosta 34 viikkoon saman materiaalivalmistajan samalle tuotteelle antamaa ohjetta noudattaen, kun riittävän kuivumisen määrittäminen tehdään eri menetelmillä.

Esimerkki 2:

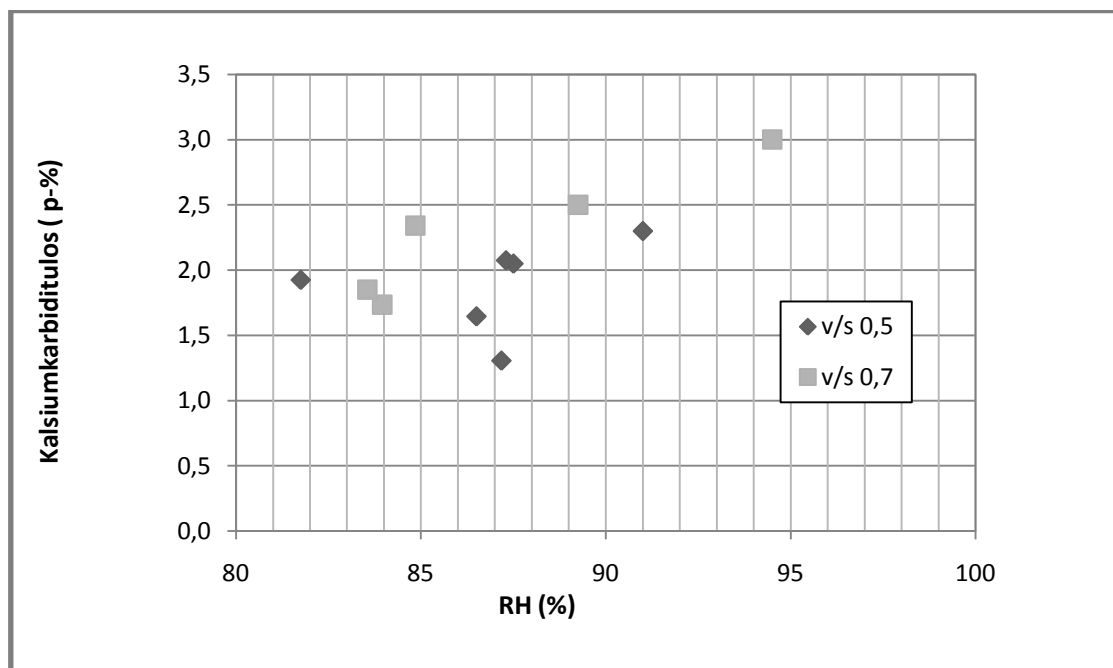
Betonilaatta tullaan päällystämään kumimatolla. Tuotteen suomalaisen asennusohjeen (www.freudenberg.sci.fi, luettu 8.11.2007) mukaan: ”Alustan kosteusprosentti saa olla korkeintaan 3,3 % 2 cm:n syvyydestä mitattuna (karbidimenetelmä), suhteellinen kosteus < 85 % ”.

Jos 110 mm paksun maanvaraisen lattiarakenteen kosteusmittaus tehdään mittaamalla betonin suhteellinen kosteus porareiästä 40 % syvyydeltä rakenteen paksuudesta RT 14-10675 ohjekortin mukaisesti, tarkasteltava rakenne saavuttaa vaadittavan alle 85 % RH arvon noin 18 viikon kuivumisen jälkeen (kuva 23).

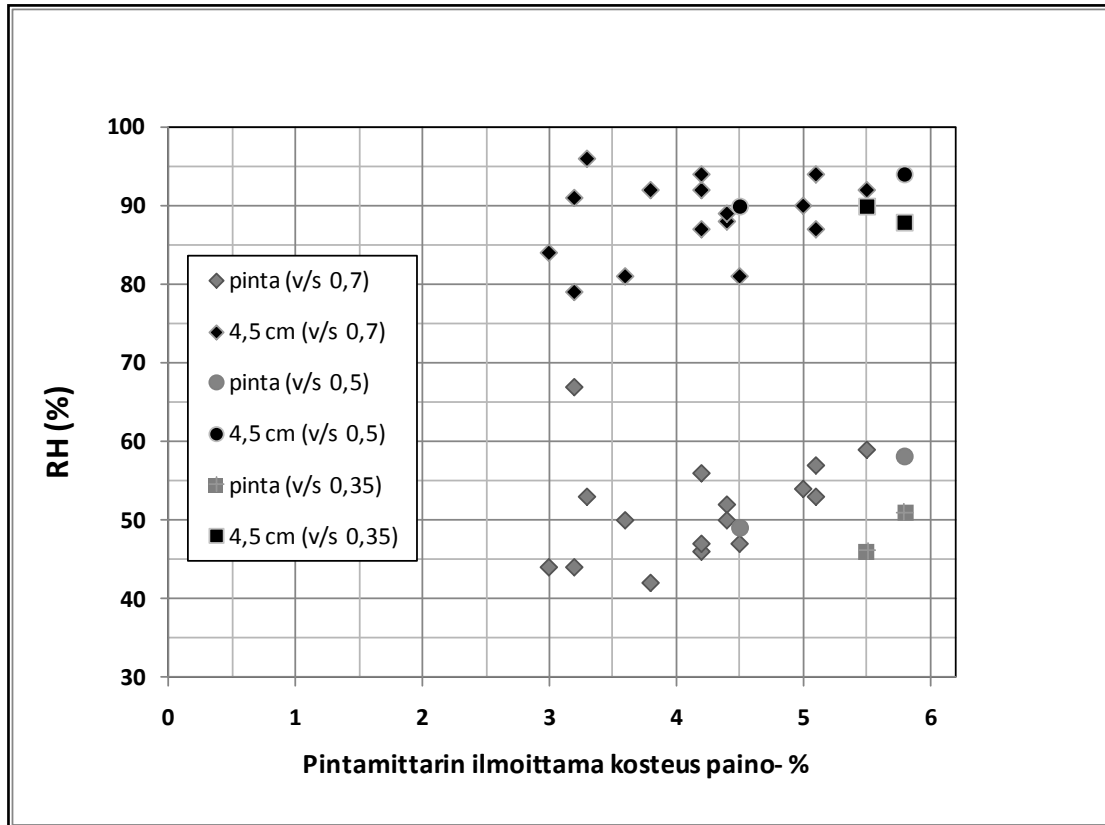
Jos mittaus tehdään kalsiumkarbidimittarilla ja oletetaan, että kosteusprosentin ollessa alle 3,3 % betonin suhteellisen kosteus on alle 95 % (kuva 30), esimerkkirakenne alittaa 95 % suhteellisen kosteuden 2 cm syvyydellä jo parin viikon kuivumisen jälkeen (kuva 23).

Niemi et al. (1999) on mitannut kolmesta eri betonilaadusta ($v/s=0,7$, $v/s=0,5$ ja $v/s=0,35$) valmistettujen laattojen kosteutta Humitest MC100 pintakosteusmittarilla (mittalaitteen asetuksella E4) ja suhteellisena kosteutena (RH %) näytepaloista sekä rakenteen pinnasta että 4,5 cm syvyydeltä (40 % rakenteen paksuudesta). Mittaustulosten (kuva 31) mukaan pintakosteusmittarin antaessa lukemaksi noin 3,3 %, betonin suhteellinen kosteus 4,5 cm syvyydellä oli jollakin betonilaadulla noin 80 %, jollakin toisella taas noin 90 % tai jopa yli 95 %. Näin ollen kyseisellä pintakosteusmittarilla mitattaessa laatta voi saavuttaa tavoitellun alle 3,3 % kosteuden jopa alle 3 viikon kuivumisen jälkeen, kun suhteellinen kosteus 4,5 cm syvyydellä on noin 95 %, mutta yhtälailla sama tulos voidaan saada vasta 34 viikon kuivumisen jälkeen, kun vastaava suhteellinen kosteus on noin 80 % (kuva 31).

Esimerkkirakenteen vaadittava kuivumisaika ennen kumimatolla päällystämistä voi siis vaihdella merkittävästi ollen karbidimitauksen perusteella pari viikkoa, suhteellisen kosteuden mittauksen perusteella noin 18 viikkoa ja pintakosteusmittauksen perusteella 3-34 viikkoa.



Kuva 30. Kahdesta eri betonilaadusta ($v/s=0,5$ ja $v/s=0,7$) sekä kalsiumkarbidimitarilla mitatut kosteuspitoisuudet painoprosentteina (p-%) että näytepalamenetelmällä määritetyt betonin suhteellisen kosteuden arvot (RH %). (Laitinen et al. 2004).



Kuva 31. Kolmesta eri betonilaadusta valmistetun laatan kosteus mitattuna sekä Humitest MC100 pintakosteusmittarilla että näytepalamenetelmällä RH(%) rakenteen pinnasta ja 4,5 cm syvyydeltä. (Niemi et al. 1999).

Esimerkki 3.

Maanvarainen betonilaatta tullaan päällystämään laminaatilla. Tuotteen suomalaisen, ruotsalaisen ja englantilaisen asennusohjeen mukaan (www.europe.pergo.com, luettu 30.11.2007) alustabetonin suhteellinen kosteus saa enimmillään olla 75 % (betoni/kiviaineisille lattioille max. 75 % RH, min 18 °C). Saksalaisen asennusohjeen vaatimuksena on 2 p-% ja yhdysvaltalaisen 4,5 p-% tai 5 lbs./1000 sq.ft./24 h (MVER).

Jos mittaus tehdään suhteellisen kosteuden menetelmällä porareistä kuten Suomessa ja Ruotsissa pääsääntöisesti tehdään, esimerkkirakenteen kuivuminen tavoitekosteuteen (75 %) kestää yli 40 viikkoa (kuva 23).

Jos mittaus tehdään karbidimittarilla, kuten Saksassa yleensä, ja oletetaan että 2 paino-% vastaa noin 83 % RH:ta (kuva 30), esimerkkirakenne saavuttaa tavoitellun kosteustilan noin 6 viikon kuivumisen jälkeen (mitattuna 2 cm syvyydellä). Englannissa betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaus tehdään yleensä kupumenetelmällä rakenteen pinnasta. Betonilattioiden päällystämisen ohjeistus BePO -projektin tutkimuksissa (Niemi et al. 2007) kyseinen esimerkkilaatta pääl-

lystettiin 0,2 mm paksuisella PE-kalvolla (muovikalvolla), kun betonin suhteellinen kosteus 40 % syvyydellä rakenteen paksuudesta oli 95 % (kuva 32) ja 85 % (kuva 33). Suhteellinen kosteus laatan pinnassa mitattiin juuri ennen päällystämistä ja monen kuukauden ajan päällystämisen jälkeen.

Molemmissa tapauksissa suhteellinen kosteus laatan yläpinnassa PE-kalvon alla nousi kutakuinkin samaan arvoon, kuin mitä se oli ennen päällystämistä 40 % syvyydellä laatan paksuudesta. Ennen päällystämistä laatan yläpinnan suhteellinen kosteus oli noin 50 - 60 %. Laatassa, jossa suhteellinen kosteus 40 % syvyydellä laatan paksuudesta PE-kalvon asennushetkellä oli noin 95 % ja laatan pinnassa noin 60 %, suhteellinen kosteus PE-kalvon alla nousi kolmen vuorokauden kuluessa kuitenkin vasta arvoon 75 % (kuva 32).

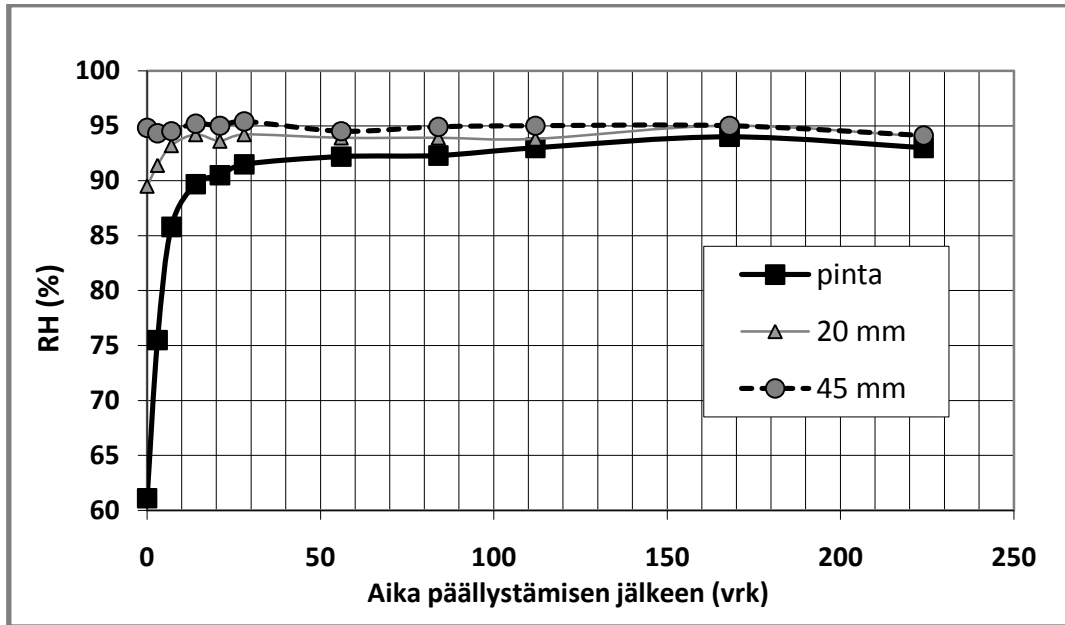
Laatassa, jossa suhteellinen kosteus 40 % syvyydellä laatan paksuudesta muovikalvon asennushetkellä oli noin 85 % ja laatan pinnassa noin 53 %, suhteellinen kosteus nousi kolmen vuorokauden aikana noin 65 % tasolle (kuva 33).

Ilmiötä voidaan verrata siihen, mitä tapahtuu kupumenetelmässä: Betonirakenteen pintaan asennettu tiivis kupu estää PE-kalvon tavoin kosteuden haihtumisen rakenteesta, jolloin kosteus kuvun sisällä nousee ajan kuluessa.

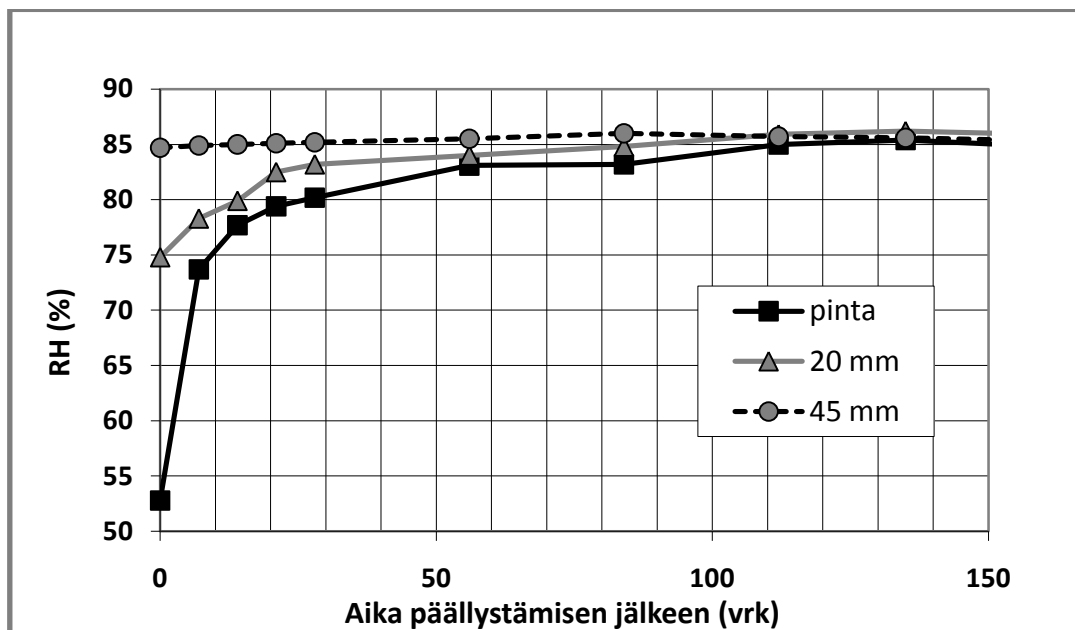
Täten voidaan olettaa, että jos esimerkkirakenteen kosteusmittaus tehtäisiin British Standardin mukaisella kupumenetelmällä, molemmista edellä mainituista laatoista (kuva 32 ja 33) voidaan saada kosteusmittaustulokseksi alle 75 % suhteellinen kosteus – erityisesti, jos mittausaika on joidenkin ohjeiden mukaisesti jopa vähemmän kuin kolme vuorokautta.

Näin olen, kupumenetelmällä mitattaessa, laatta voidaan saada ”riittävän kuivaksi” jo noin 3 viikon kuivumisen jälkeen.

Esimerkkirakenteen vaadittava kuivumisaika voi siis vaihdella 3 viikosta aina yli 40 viikkoon riippuen valitusta kosteusmittausmenetelmästä.



Kuva 32. Betonilaatan suhteellinen kosteus RH (%) ajan funktiona päällystämisen jälkeen. Laatta on päällystetty 0,2 mm paksuisella PE-kalvolla. Mittaukset tehty välittömästi päällysteen alta (pinta) sekä lisäksi 20 mm ja 45 mm syvyydeltä. Päällistyshetkellä betonin suhteellinen kosteus 45 mm syvyydellä oli 95 % ja rakenteen pinnassa noin 60 %. (Niemi et al. 2007).



Kuva 33. Betonilaatan suhteellinen kosteus RH (%) ajan funktiona päällystämisen jälkeen. Laatta on päällystetty 0,2 mm paksuisella PE-kalvolla. Mittaukset tehty välittömästi päällysteen alta (pinta) sekä lisäksi 20 mm ja 45 mm syvyydeltä. Päällistyshetkellä betonin suhteellinen kosteus 45 mm syvyydellä oli 85 % ja rakenteen pinnassa noin 53 %.(Niemi et al.2007).

5.3 JOHTOPÄÄTÖKSET RIITTÄVÄN KUIVUMISEN MÄÄRITYSMENETELMISTÄ

Betonilattioiden kosteustilan selvittämiseksi on olemassa useita erilaisia kosteusmittausmenetelmiä ja -laitteita. Laitteiden toimintatavoissa voi olla huomattavia eroja. Osa niistä mittaa betonissa olevaa haihtumiskykyisen kosteuden määrää, osa haihtuvan kosteuden määrää ja osa betonin sähköisiä ominaisuuksia. Erilaisista toimintatavoista johtuen eri laitteella tehdyt mittaukset voivat johtaa hyvinkin erilaisiin tuloksiin.

Betonilattian vaaditussa kuivumisajassa voi olla huomattavia eroja riippuen siitä, millä menetelmällä kosteusmittaus tehdään. Lattianpäällystysmateriaalin asennusohjeessa ilmoitettuja vaihtoehtoisia menetelmiä käytettäessä saman betonilattiarakenteen vaadittava kuivumisaika voi vaihdella muutamasta viikosta useisiin kymmeniin viikkoihin. Kuivumisajat ovat yleensä pisimpiä, kun kosteusmittaus tehdään RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* ohjekortin mukaisesti. Esimerkiksi saman rakenteen kuivumisaikaero voi olla yli 30 viikkoa, jos vaatimuksena on alittaa 75 % suhteellinen kosteus ja mittausmenetelmänä käytetään joko suhteellisen kosteuden mittausta porareiästä tai suhteellisen kosteuden mittausta rakenteen pinnasta niin sanotulla kupumenetelmällä. Suhteellisen kosteuden mittaus porareiästä on Suomessa yleisimmin käytetty menetelmä. Kupumenetelmää käytetään puolestaan muun muassa Iso-Britanniassa. Myös kalsiumkarbidimittausmenetelmää käytettäessä vaadittavat kuivumisajat ovat huomattavasti lyhyempiä kuin mitattaessa betonin suhteellinen kosteus porareiästä.

Betonin sähköisiä ominaisuuksia mittaavien pintakosteusmittareiden käyttöä betonilattioiden päällystettävyyuskosteuden määrittämiseen ei ole Suomessa suositeltu käytettäväksi pitkiin aikoihin. Silti edelleenkin esimerkiksi Internetistä löytyy mittalaittevalmistajien ilmoituksia, joiden mukaan mittalaitteella voi tehdä tarkkaan tietoon perustuvia päätöksiä lattiapäällysteen asentamisesta. Vaikka menetelmää pidetään yleisesti epäluotettavana antamaan riittävä kuvaa betonirakenteen kosteustilasta, käytetään sitä varsin paljon etenkin kosteusvauriotutkimusten yhteydessä.

6 BETONILATTIAN KOSTEUSMITTAUKSEN LUOTETTAVUUS

6.1 KOSTEUSMITTAUKSEN LUOTETTAVUUS

Suomessa betonilattioiden kosteustilan määrittystä on viime vuosina pyritty enemmän ohjaamaan siihen suuntaan, että määrittäminen tehdään mittamalla betonin huokosilman suhteellinen kosteus betonirakenteeseen poratusta reiästä. Samaa mittaustulosta ja vieläpä samaa mittalaitetta käyttävän kahden eri mittauksen mittaustulokset voivat kuitenkin poiketa toisistaan huomattavasti, sillä betonilattian kosteusmittaukseen liittyy lukuisia epävarmuustekijöitä. Näiden eri tekijöiden vaikutus mittaustulokseen ja siten myös tuloksen tulkintaan voi olla merkittävä. Kosteusmittauksen luotettavuuteen vaikuttavia päätekijöitä ovat mittauslaite, mittausmenetelmä, mittausympäristö ja ympäristö. (Heinonen 2001).

Luotettavan mittauksen keskeisiä kulmakiviä ovat mittauksen pätevyys ja jäljitettavuus sekä tarkkuuden tunteminen. Pätevä (*validi*) mittaus mittaa sitä mitä on tarkoituskin mitata. Porareikämittausmenetelmää voitaneen pitää pätevänä menetelmänä määrittää betonin huokosilman suhteellinen kosteus tietyltä syvyydeltä betonilattiarakenteesta toisin kuin esimerkiksi pintakosteusmittarilla tehtyä mittauksia. Tulosten jäljitettavuus edellyttää mittausepävarmuuden määrittämistä. Mittauksen tarkkuudella tarkoitetaan mittaustuloksen ja tosiarvon yhteensopivuutta. Menetelmän uusittavuus (*reliabiliteetti*) tarkoittaa sitä täsmällisyyttä, joka saavutetaan, kun mittaukset tehdään samasta rakenteesta, samalla menetelmällä eri mittauksen toimesta eri laitteilla. Dokumentointi auttaa reliabiliteetin toteutamisessa. (Heinonen 2006).

Mittausvirhe on mittaustuloksen ja mitattavan arvon ero (Heinonen 2006, s. 9). Yksittäisen mittauksen mittausvirhe (kokonaisvirhe) jakaantuu satunnaiseen ja systemaattiseen virheeseen. Systemaattinen virhe (poikkeama, *bias*) tarkoittaa mitattavan suureen oletetun mittaustuloksen ja tosiarvon tai sovitun arvon välistä eroa. Esimerkiksi mittaustulosten keskiarvon poikkeamaa suureen todellisesta arvosta (jota ei mittauksissa monestikaan tiedetä). Systemaattisen virheen seurauksena saatu mittaustulos on aina saman verran liian suuri tai pieni. Virheen suuruus on siis sama kun, mittalaitetta käytetään samalla tavalla. Koska virhe pysyy samana mittauksista toistettaessa, sitä on vaikea huomata mittauksen aikana. Tyypillinen esimerkki systemaattisesta virheestä on väärin kalibroitu mittari, joka antaa todellisesta suurempia tai pienempiä mittaustuloksia. (Näykki 2006).

Satunnaisvirhe (*random error*) tarkoittaa yhden mittaustuloksen poikkeamaa kaikkien mittauksen keskiarvosta. Se aiheutuu useista eri tekijöistä. Virhe ei liity itse mittariin, vaan on siihen nähden ulkoista, esim. lyöntivirhe, epäselvät ohjeet, mittauksen omat virheet. Satunnaisvirhettä voidaan mitata samoin kuin mitä tahansa hajontaa, eli esimerkiksi laskemalla mittaustulosten keskihajonta. Pieni keskihajonta tarkoittaa samaa kuin hyvä toistettavuus. (Näykki 2006, Heinonen 2006).

Koska mittaustuloksia ilmoitettaessa mittausvirhettä ei tiedetä, käytetään *mittausepävarmuutta*. Mittausepävarmuus on mittaustulokseen liittyvä parametri, joka kuvaa mittaussuureen arvojen oletettua vaihtelua (SFS 3700, 1998). Mittausepävarmuus muodostuu yleensä useista eri osista. Myös näiden osatekijöiden todellista arvoa ja vaikutusta mittaustulokseen on mahdotonta täysin tietää (Heinonen 2006). Jotkut niistä voidaan arvioida mittaussarjan tulosten tilastollisesta jakaumasta ja niitä voidaan kuvata kokeellisen keskihajonnan avulla. Toisia osia, joita voidaan kuvata samoin keskihajonnan avulla, arvioidaan kokemukseen tai muuhun informaatioon perustuvan oletetun todennäköisyysjakauman perusteella (Weckström 2005; Mikes 2005). Mittausvirhe on yksittäinen arvo, jota voidaan käyttää tietyn tuloksen korjaukseen. Mittausepävarmuus on vaihteluväli, jota voidaan soveltaa kaikkiin tietyn mittausmenetelmän tuloksiin (Mikes 2005, s. 19).

Mittausepävarmuutta määritettäessä tulee aluksi identifioida kaikki mahdolliset epävarmuuslähteet. Näistä kullekin määritetään standardiepävarmuudet (S_x), joista voidaan edelleen laskea yhdistetty kokonaismittausepävarmuus S_{tot} (Mikes 2005, s. 18 - 24). Hedenblad (1995) on antanut esimerkin systemaattisista ja satunnaisista tekijöistä, jotka voivat aiheuttaa virhettä betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen (sekä porareikäettä näytepalamenetelmässä). Sjöberg (1998, s. 20 - 23) on luokitellut nuo tekijät neljään pääluokkaan (taulukko 5). Betonin suhteellisen kosteuden kokonaismittausepävarmuus S_{tot} voidaan laskea seuraavasti (Sjöberg 1998, s. 9):

$$S_{tot} = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 + \dots + S_s^2 + S_t^2 + S_u^2}, \text{ missä}$$

S_{tot} = kokonaismittausepävarmuus

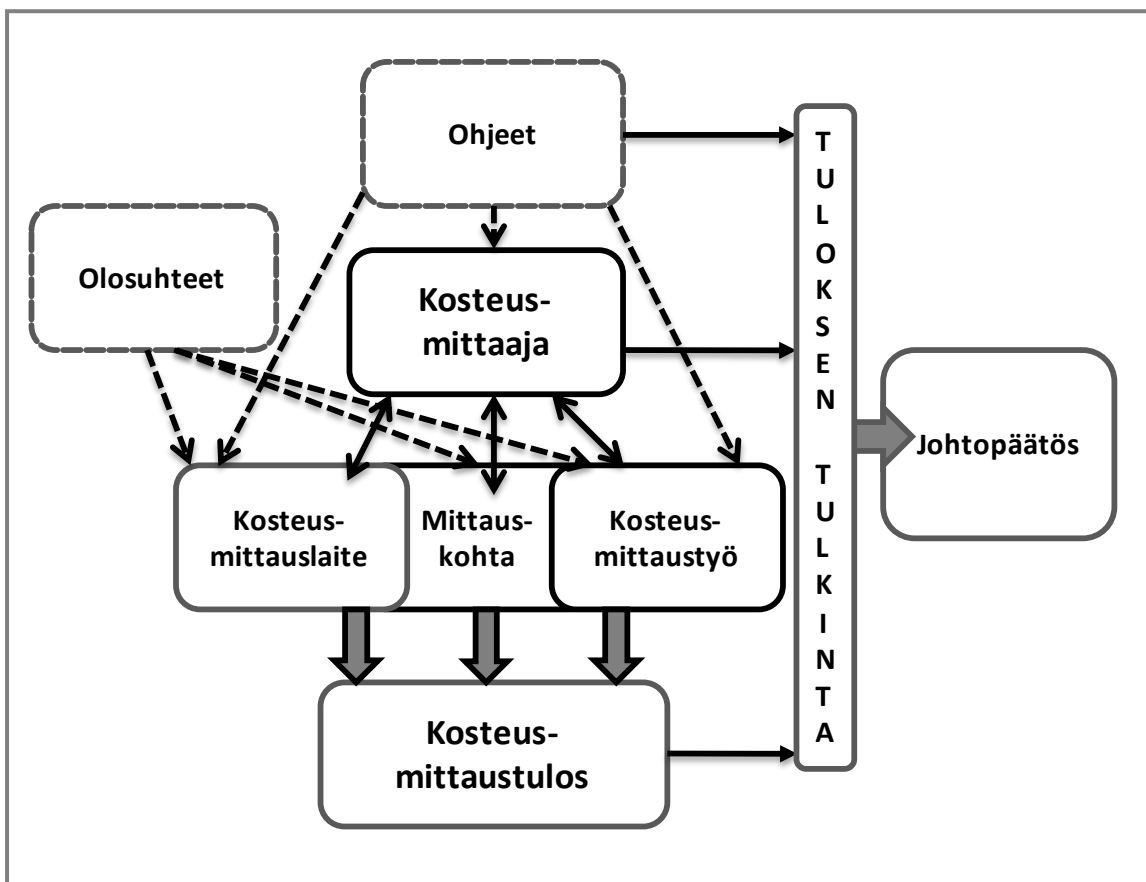
$S_a \dots S_u$ = tekijöiden a... u mittausepävarmuus

Betoninlattian suhteellista kosteutta mitattaessa mittaaajan tulisi arvioida mittauksen luotettavuutta. Jos kosteusmittaustuloksessa ei ole mittalaitteen ilmoittaman lukeman lisäksi arviota mittauksen luotettavuudesta, mittaustulosta voidaan pitää puutteellisena eikä se siten anna riittävää informaatiota mitattavasta kohteesta (Heinonen 2006, 8). Toisin sanoen, mittaus ilman käsitystä sen pätevyydestä ja mittaustulos ilman käsitystä tulokseen liittyvästä mittausepävarmuudesta on merkityksetön. Mittausepävarmuus tulisi ilmoittaa aina mittaustuloksen yhteydessä. Jos mittaustarkkuustarkastelua ei ole tehty ja mittaustuloksen tulkitsijalla ei ole riittävää tietoa mittaukseen liittyvistä tekijöistä, hän saattaa helposti tehdä johtopäätöksiä pelkän mittalaitteen ilmoittaman lukuarvon perusteella.

Taulukko 5. Betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen liittyviä epävarmuustekijöitä Sjöbergin (1998, s. 20 - 23) luokituksen mukaan.

Mittausepävarmuuslähde	
Mittalaite	a) mittalaitteen epälineaarisuus (systemaattinen)
	b) RH mittapään hiipuma (systemaattinen)
	c) mittapään hystereesi (satunnainen)
Mittalaitteen kalibrointi	d) kalibrointilämpötila (systemaattinen)
	e) suolaliuoksen ominaisuudet (satunnainen)
	f) lämpötilamuutokset kalibroinnin aikana (satunnainen)
	g) muut kalibroinnin aikana vaikuttavat tekijät (satunnainen)
	h) kalibroinnin kokonaismittausepävarmuus (satunnainen)
Mittalaitteen käsittely mittauksen aikana ja mittausten välillä	i) mittaus eri lämpötilassa kuin kalibrointi (systemaattinen)
	j) mittaushetken lämpötila eri kuin käyttölämpötila (systemaattinen)
	k) RH-mittapään säilytys kuivissa olosuhteissa (systemaattinen)
	l) RH-mittapään kosteuskapasiteetti näytepalamittauksessa (systemaattinen)
	m) RH-mittapään kosteuskapasiteetti porareissä (systemaattinen)
	n) lämpötilaero mittapään ja betonin välillä (systemaattinen)
	o) porareian tasaantuminen (systemaattinen)
	p) betonin emäksisyys (systemaattinen)
	q) lämpötilan muuttuminen mittauksen aikana (satunnainen)
	r) epätasainen näytepalojen otto (satunnainen)
	s) kosteuden kondensoituminen koeputkeen kuljetuksen aikana (satunnainen)
	t) mittausreiän syvyyden vaihtelu (satunnainen)
Mittaustulosten analysointi	u) väärin arvioitu rakenteen paksuus (satunnainen)

Tämän tutkimuksen tässä osassa tarkastellaan, miten betonilattian suhteellisen kosteuden mittaamiseen kohdistuvat erilaiset epävarmuustekijät voivat vaikuttaa mittaustulokseen, sekä miten nämä tekijät on otettu huomioon mittaamiseen liittyvissä ohjeissa ja käytännöissä. Tarkastelun kohteena ovat suhteellisen kosteuden mittalaitteet, mittauskohhta sekä itse mittaustyö (kuva 34). Mittalaitteen ominaisuuksien kohdalla tarkastelu rajataan koskemaan mittalaitteiden tarkkuutta ja kosteustasapainon saavuttamiseen vaadittavaan aikaan. Mittauskohdan yhteydessä selvitetään, mitkä eri tekijät voivat aiheuttaa saman lattian eri mittauskohtien mittaustuloksissa hajontaa. Mittaustyön osalta tarkastellaan mittausräin valmisteluun liittyviä tekijöitä sekä lämpötilan vaikutusta. Tarkastelu rajataan koskemaan betonin suhteellisen kosteuden mittaamista porareistä, koska se on Suomessa yleisesti käytetty ja paikoin jopa ainoa hyväksytty menetelmä betonirakenteiden kosteustilan määrittämiseksi



Kuva 34. Betonilattian suhteellisen kosteuden mittaukseen, mittaustulokseen ja tuloksen tulkintaan vaikuttavia tekijöitä.

6.2 KOSTEUSMITTAREIDEN TARKKUUS JA KALIBROINTI

Mittalaitteen tarkkuudella tarkoitetaan mittalaitteen kykyä antaa vasteita, jotka ovat lähellä tosiarvoa (SFS 3700, 1998). Kosteusmittareiden valmistajat ilmoittavat yleensä mittalaitteen tarkkuuden. Esimerkiksi Vaisala Oyj ilmoittaa rakennekosteusmittaukseen tarkoitetun mittapäänsä HMP 44 kosteusanturin tarkkuudeksi ± 2 % suhteellisen kosteuden ollessa 0 - 90 % ja ± 3 % suhteellisen kosteuden ollessa 90 - 100 %. Lämpötila-anturin tarkkuudeksi on ilmoitettu $\pm 0,3$ °C (Vaisala 2006, s. 44).

Mittalaitteiden kalibroinnilla on merkittävä vaikutus mittaustarkkuuteen. Kalibroinnissa mittalaitteen näyttämää verrataan tunnettuun vertailukosteuteen, joka on jäljiteltävissä ja jonka tarkkuus on ainakin yhden luokan korkeampi kuin kalibroitavan mittalaitteen (Heinonen 2006, s. 26). Kalibroinnissa käytetään yleensä erilaisten suolojen kylläisiä liuoksia. Saavutettava tarkkuus riippuu tällöin käytettävistä suoloista, liuoksen kunnosta ja ennen kaikkea lämpötilasta, sillä kalibrointiliuosten vesihöyrynosapaine ja siten myös suhteellinen kosteus on riippuvainen lämpötilasta (Sjöberg 1998, s. 28).

Kalibrointitiheyden tulee olla riittävä suhteessa mittalaitteen stabiliteettiin ja käyttöön niin, ettei mittalaitteessa pääse tapahtumaan merkittäviä muutoksia kalibrointien välillä (Sjöberg 2001). Useimmat suhteellisen kosteuden mittaussanturit ovat kapasitiivisia, missä kahden elektrodin välissä on ohut polymeerikalvo. Kun vesimolekyylit kiinnittyvät huokoiseen polymeerikalvoon, systeemin kapasitanssi muuttuu. Vesimolekyylien kiinnittyminen on riippuvaista polymeerikalvon molekyyliarakenteesta, mutta myös muista kalvoon mahdollisesti kiinnittyneistä molekyyleistä sekä lämpötilasta. Koska pintailmiöt voivat olla palautumattomia, kosteusanturin ominaisuudet voivat muuttua ajan kuluessa. Anturin ominaisuudet riippuvat siis merkittävästi anturin historiasta; muun muassa millä lämpötila- ja kosteusalueilla anturi on ollut ja mitä aineita siihen on kontaminoitunut. (Heinonen 2006).

Betoni on erittäin aggressiivinen materiaali, jonka kemikaalit voivat vaikuttaa kapasitiivisen anturin ominaisuuksiin (Hedenblad 1994; Nilsson et al. 2005). Betonin sisältämät kemikaalit voivat kontaminoitua kosteusanturin herkan polymeerikalvon pintaan, minkä seurauksena anturin ominaisuudet muuttuvat. Monien anturien näyttämien on havaittu muuttuvan betonista tehtyjen kosteusmittausten yhteydessä. Myös esimerkiksi kosteusvauriotutkimuksissa päällystemateriaalin kiinnittämiseen käytetyn liiman kemikaalit voivat muuttaa anturin ominaisuuksia (Malmivaara et al. 1998). Muutos voi olla jopa 10 - 20 prosenttiyksikköä suhteellista kosteutta (Nilsson et al. 2005, s. 26).

RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mitta*us (1998) ohjekortin mukaan anturi tulee tarkistaa ja tarvittaessa kalibroida riittävän usein, mielellään ennen ja jälkeen jokaisen mittauksen. Asumisterveysohjeen (2003, s. 24) mukaan mittalaitteiden kalibrointi tulee varmistaa ennen jokaista mittaussarjaa laitevalmistajan edellyttämällä tavalla. Ohjeen mukaan kalibrointi tulisi tehdä myös mittauksen jälkeen.

Suhteellisen kosteuden mittalaitteiden valmistajat antavat tuotteilleen muun muassa seuraavanlaisia kalibrointiin liittyviä ohjeita:

Anturin toiminta tulee tarkistaa 6-12 kuukauden välein. (Rotronic 2007).

Uusi mittapää tulee kalibroida 6 kuukauden kuluttua käyttöön otosta ja tämän jälkeen vuosittain. (Vaisala 2006).

Säilyttääkseen ominaisuutensa Hygrostick mittapää ei saa kastua (altistaa kylläiseen tilaan). Mikäli mittapää kastuu, sen kalibrointi on tarkistettava säännöllisesti. (Protimeter 2005).

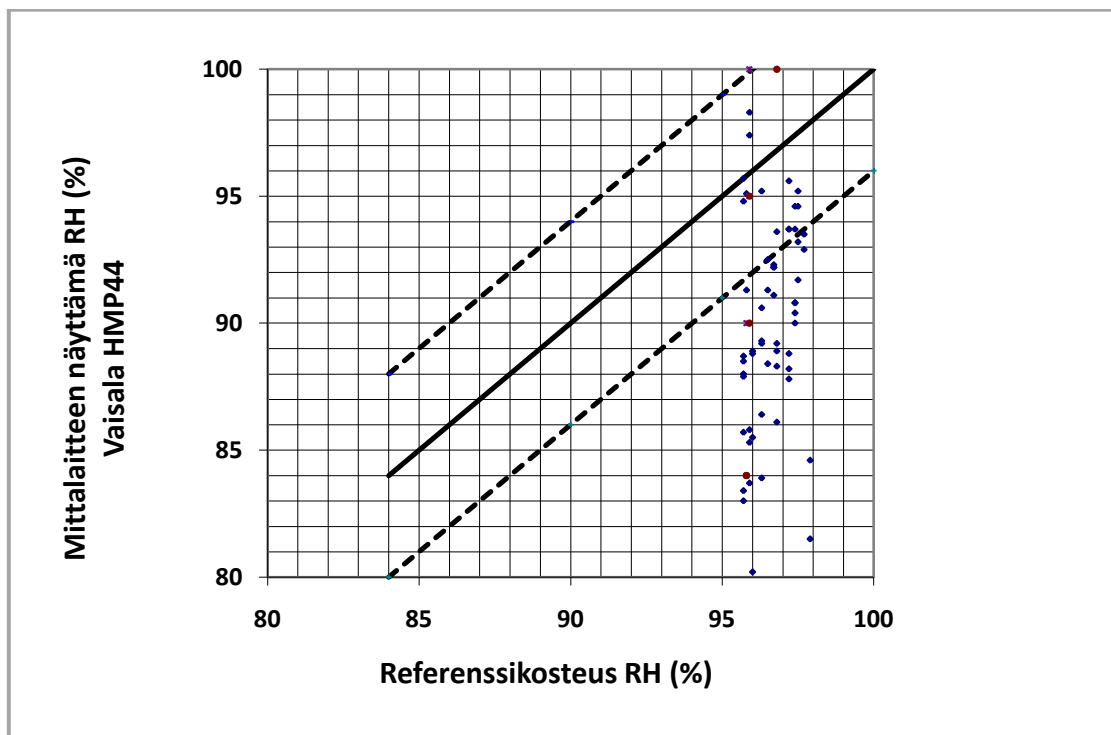
Käytännössä vain hyvin harva kosteusmittaaja kalibroi mittalaitteensa ennen ja jälkeen jokaisen mittauskerran. Kun syksyllä 2007 *Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RA-TEKO:n* järjestämällä *Betonirakenteiden päällystämisen uudet ohjeet* koulutuksessa jaettiin koulutukseen osallistuville kyselylomake, jossa kysyttiin muun muassa. ”Kuinka usein kalibroit mittalaitteesi?”, vain yksi ilmoitti kalibroivansa kosteusmittarinsa jokaisen mittaushetken jälkeen. Kyselyyn vastasi yhteensä 34 henkilöä, joista 25 ilmoitti tekevänsä työssään betonilattioiden kosteusmittauksia. Kosteusmittauksia tekevistä henkilöistä 32 % ilmoitti kalibroivansa mittalaitteensa vähintään puolen vuoden välein, 48 % noin vuoden välein ja loput 20 % harvemmin. Tämän tutkimuksen yhteydessä läpikäydyistä eri kosteusmittaajien Vakuutusyhtiö Tapiolalle tekemistä kosteuskartoitusraporteista (450 kpl) alle 2 %:ssa oli ilmoitettu tutkimuksissa käytettyjen suhteellisen kosteuden mittapäiden kalibrointiajankohta.

Kalibrointiprosessin yhteydessä monet mittalaitteet voidaan säätää näyttämään ”oikeaa” arvoa. Kalibrointikorjaus voidaan tehdä myös mittauksen jälkeen korjaamalla saatu suhteellisen kosteuden arvo mittapäakohtaisella kalibrointikorjauskertoimella. Vaisala Oyj:n valmistaman erityisesti rakennekosteusmittauksiin tarkoitetun suhteellisen kosteuden mittapään HMP44 yksilölliset kalibrointikorjauskertoimet voidaan tallentaa näyttölaitteen (HMI41) muistiin. Mittauksen aikana näyttölaite näyttää jokaisen mittapään kohdalla yksilöllisen kalibrointikertoimella korjatun ”todellisen” suhteellisen kosteuden arvon. Jos korjauskertoimia ei ole asetettu tai vahingossa käytetään väärän mittapään korjauskertoimia, mittausrvirhe voi olla huomattava.

Vaisala HM44 kosteusmittalaitteen käyttöohjeen (Vaisala 2006) mukaan HMP44 kosteus- ja lämpötilamittapään mittaustarkkuus on ± 4 % RH, jos yksilöllisiä korjauskertoimia ei käytetä. Käytännössä epätarkkuuden on kuitenkin havaittu olevan huomattavasti suurempi. Tätä tutkimusta varten käytiin läpi Humittest Oy:n laboratorioon maaliskuussa 2003 kalibroitavaksi tulleiden eri kuivatusliikkeiden ja rakennusurakoitsijoiden Vaisala HMP44 mittapäiden kalibrointitodistukset (51 kpl). Kalibroinnit oli tehty Vaisala Oyj:n valmistamalla HMK13B kosteuskalibrointilaitteella. Laitteen suolaliuoskammioiden referenssikosteuspitoisuudet oli mitattu Vaisala Oyj:n valmistamalla Vaisala Oyj:n mittanormaaliolosuhteissa kuhunkin kosteuspitoisuuteen säädetyllä HMP233 lämpötila- ja kosteusmittalähettimellä. Referenssikosteus oli tehty kylläisellä suolaliuoksella (kaliumsulfaatti, K_2SO_4). Kalibrointitodistuksista havaittiin (kuva 35), että kalibrointiin tulleet mittalaitteet ovat näyttäneet pääosin referenssikosteutta (noin 97 % RH) huomattavasti alhaisempia lukemia ja useimmissa tapauksissa ero on paljon suurempi kuin 4 prosenttiyksikköä. Poikkeama oli keskimäärin 6,7 prosenttiyksikköä, keskihajonnan ollessa 3,8. Suurin poikkeama oli jopa yli 15 prosenttiyksikköä (todellisen suhteellisen kosteuden ollessa noin 96 %, mittapää on antanut lukemaksi 80 %). Kalibroinnin puutteesta johtuvaan mittalaitteen epätarkkuuteen liittyy niin suuri hajonta, että tämän yksit-

täisen mittausepävarmuustekijän vaikutusta kokonaismittaustarkkuuteen on vaikea arvioida.

Liian harvoin tapahtunut kalibrointi tai kalibrointikorjauksen poisjättäminen voivat johtaa virheelliseen, useimmissa tapauksissa todellista alhaisempaan, kosteusmittaustulokseen. Käytännössä tämä voi johtaa betonilattiarakenteen liian aikaiseen päällystämiseen ja myöhemmin mahdollisesti ilmentyneeseen kosteusvaurioon. Kalibrointivirheen takia lattiarakenne voidaan todeta riittävän kuivaksi (esimerkiksi alle 85 % RH) jo muutaman viikon kuivumisen jälkeen, vaikka todellisuudessa betonilattian suhteellinen kosteus onkin yli 95 %. Vaadittava kuivumisaika voi esimerkiksi vaihdella 3 viikosta 18 viikkoon (kuvan 23 mukaisesti).



Kuva 35. Kalibroinnissa olleiden Vaisala HMP44 mittapäiden näyttämän suhteellisen kosteuden RH (%) ja kylläisen suolaliuoksen (K_2SO_4) avulla tehdyn referenssikosteuden RH (%) korrelaatio. Yhtenäisen viivan kohdalla mittalaitteen näyttämä RH ja referenssi RH ovat samat. Katkoviivojen sisäpuolella täyttyy tarkkuus ± 4 % RH –yksikköä. (lähde Humittest Oy asiakkaiden kalibrointitodistukset maaliskuu 2003).

Mittalaitteen puutteellinen tai virheellinen kalibrointi voi johtaa myös päinvastaiseen tilanteeseen, jossa mittalaite näyttääkin todellista korkeampia lukemia. Eräässä todellisessa uudisrakennuskohteessa betonilattioiden päällystämisaikankohdalla viivästyi useita viikkoja, koska rakennusurakoitsijan tekemä kosteusmittaus osoitti rakenteen kosteuden olevan huomattavasti vaadittua tasoa korkeampi. Kun rakenne ei lisäkuivatustoimenpiteistä (koneellinen kuivatus ja lämmitys) huolimatta näyttänyt kuivuvan, paikalle kutsuttiin ulkopuolinen kosteusmittaaja, jonka mittaukset osoittivat rakenteen huomattavasti kuivemmaksi. Jälkeenpäin tehdyssä kalibroinnissa urakoitsijan kosteusmittarin havaittiin näyttävän yli 15 prosenttiyksikköä liian korkeita lukemia. Epäilyksen mittalaitteen kunnosta olisi kyllä pitänyt herätä jo aiemmin, sillä tulokseksi oli saatu yli 100 % suhteellisen kosteuden arvoja.

6.3 KOSTEUSMITTAREIDEN TASAANTUMINEN

Suhteellisen kosteuden mittauksessa mittapään tulee olla mittausreiässä niin kauan, että kosteustasapaino mittapään ja mitattavan materiaalin välillä saavutetaan. Betonin suhteellista kosteutta mitattaessa porareikämenetelmällä mittauspisteessä vallitseva kosteus määrä (g/m³) on hyvin pieni. Esimerkiksi betonin suhteellisen kosteuden ollessa 80 % ja lämpötilan 20 °C, kosteussisältö porareikässä (Ø14 mm, korkeus 10 cm) on vain noin 0,21 mg. Mittauspisteessä mittapään (anturin, filtlerin, rungon ja muiden osien, jotka ovat kosketuksissa betonin suhteellisen kosteuden kanssa) kosteuskapasiteetilla on merkittävä vaikutus muun muassa siihen, miten kauan kestää, että anturi saavuttaa kosteustasapainon mitattavan betonin huokosilman suhteellisen kosteuden kanssa. Mitä suurempi mittapään kosteuskapasiteetti on, sitä kauemmin tasapainotilan saavuttaminen kestää. Esimerkiksi mittapään anturia suojaavan filtlerin kosteuskapasiteetti vaikuttaa huomattavasti koko mittapään kosteuskapasiteettiin. Nilssonin (1979, s. 60) mukaan sintratun pronssifiltlerin kosteuskapasiteetti on noin 4,3 mg (välillä 40 - 97 % RH). Hedenblad (1991) ilmoittaa esimerkiksi *Protimer* -mittapään kosteuskapasiteetiksi noin 10 mg ja *Vaisala HMP44* mittapään (jossa filteri on paperista) kosteuskapasiteetiksi vastaavaksi noin 1 mg. Myös mittapään tiiviys vaikuttaa merkittävästi mittapään ja mitattavan betonin välisen kosteustasapainon saavuttamisnopeuteen. Osa betonin kosteudesta voi haihtua mittapään epätiivistä vartta pitkin, jolloin mittaustulokseksi saadaan todellista alhaisempia lukemia.

RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* (1998) ohjekorttiin. Ohjekortin mukaan

kosteusanturin annetaan olla reiässä 1...24 tuntia anturityypistä ja halutusta mittauksen tarkkuudesta riippuen.

Kosteusmittaajan tulisikin tietää, mikä hänen käyttämänsä mittalaitteen vaatima tasaantumisaika on nimenomaan betonissa. Mittalaitteiden käyttöohjeista on tässä yhteydessä hyvin harvoin apua, sillä niissä ei yleensä ole mainintaa vaaditun tasaantumisaikan pituudesta mitattaessa betonin suhteellista kosteutta. Eri suhteellisen kosteuden mittalaitteiden käyttöohjeista löytyy muun muassa seuraavanlaisia ohjeita liittyen mittausaikaan:

Gann RF-T 31 on porareiästä mittaava anturi rakenteen suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaukseen. Sauvan pituus on 250 mm tai 500 mm. Sen paksuus on 10 mm. Anturi on nopea ja reagoi heti ilmaston muutokseen. (www.ksuni.fi/tuotteet/kosteusmittari, luettu 11.11.2007).

Doser LFLT1 ja LFLT2 –anturien käyttöohjeet: Jos mittavaan materiaaliin porataan reikä, sen on annettava jäähtyä riittävästi. Porareikä puhdistetaan aina huolellisesti ja sinetöidään tulpalla tai ilmastointiteipillä. Riittävän jäähtymis- ja tasaantumisaian jälkeen anturi asennetaan reikään. Anturin ja porareiän välinen rako tiivistetään sopivalla massalla, esim. sinitarralla. Kun anturi on tasaantunut porareiän ilman olosuhteisiin, liitetään anturi mittariin, kytketään mittari päälle ja luetaan mittaus-tulos. Ohjeellisia jäähtymis- ja mittausaikoja eri materiaaleissa: Betoni, erilliset ohjeet, esimerkiksi. RT-kortti 14-10675. (www.teknocalor.fi, luettu 12.11.2007).

Poraa 15 mm terällä 50 mm reikä mitattavaan alustaan. Työnnä heti kosteusmittausholkki reikään ja sulkuhattu sen päähän. 24 tunnin kuluttua poista sulkuhattu ja laita kosteusmittariin kytketty anturi tai MSS kosteusmittausholkkiin. Jos mittarin lukema on alle 75 %, niin pintaa voidaan siltä kohdin pitää kuivana. (www.pintakeskus-ke-tonen.fi, luettu 11.11.2007).

HMP44-mittapäällä betonin kosteutta voidaan mitata luotettavasti ja tarkasti. Asennus ja mittaus ovat helppoja. Mittapäälle porataan halkaisijaltaan 16 mm:n reikä, johon asennetaan asennusholkki. Ennen kuin mittaukset betonista HM44-mittalaitteella voidaan aloittaa, on odotettava noin kolme vuorokautta jotta poratun reiän kosteus saavuttaa tasapainon betonin kosteuden kanssa. Mittapää asennetaan asennusholkin sisään jo porausvaiheessa tai vähintään 30 minuuttia ennen mittausta. (Vaisala 2006).

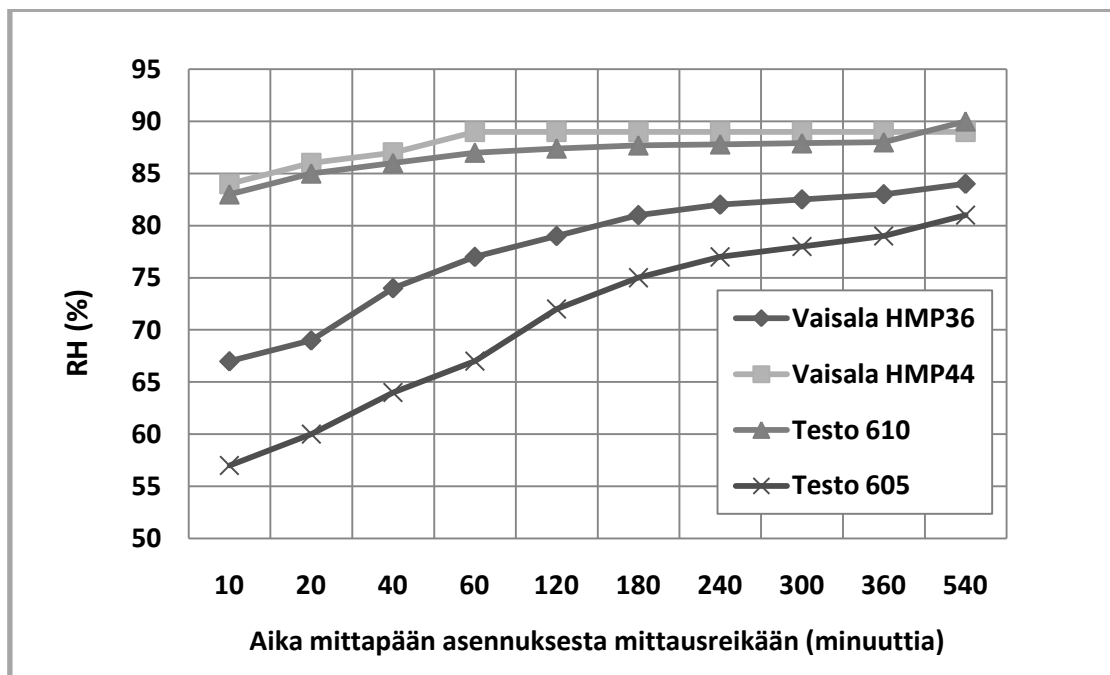
Monet mittapäät saavuttavat tasapainokosteuden mittalaitteen valmistajan ohjeissa ilmoitetun ajan puiteissa, kun mittaus tehdään esimerkiksi huoneilmasta. Betonin kosteusmittauksiin liittyvissä tutkimuksissa (mm. Gärln et al. 1995; Hedenblad 1995; Lumme et al. 1997; Malmivaara et al. 1998; Merikallio 2002) on kuitenkin havaittu, että mitattaessa betonin kosteutta porareiästä vaadittavat tasaantumisaikat ovat usein huomattavasti pidemmät. Lisäksi markkinoilla olevien suhteellisen kosteuden mittapäiden kosteuskapasiteeteissa, lämmönjohtavuusominaisuuksissa ja tiiviyksissä on huomattavia eroja. Esimerkiksi tunnin tasaantumisen jälkeen samasta betonilaatasta samalla tavalla valmistetussa mittausreiässä saadut suhteellisen kosteuden arvot voivat vaihdella välillä 70 - 90 % riippuen käytetystä mittauslaitteesta (kuva 36).

Vaisala Oy:n käyttöohjeessa *Betonin kosteuden mittaus* vuodelta 1991 neuvotaan seuraavasti:

Odota porauksen jälkeen vähintään kymmenen tuntia, mutta mieluiten yön yli ennen mittauksen aloitusta. Kun kosteutta mitataan useammasta kuin yhdestä reiästä, anna mittapään (HMP 36) olla ensimmäisessä reiässä yhden tunnin ajan ennen kuin luet tuloksen. Seuraavissa rei'issä riittää

viidentoista minuutin tasoittumisaika. Jos lukema muuttuu vielä viidentoista minuutin jälkeen, odota kunnes lukema vakiintuu.

Jos kosteusmittaajalla on käytössään esimerkiksi Vaisala HMP 36 kosteus- ja lämpötilamittapää ja hän antaa mittapään tasaantua mittausreiässä vuoden 1991 ohjeen mukaisesti tunnin ajan, tulokseksi voi tulla todellista huomattavasti alhaisempi kosteuslukema. Tunnin tasaantumisaajan jälkeen Vaisala HMP44 mittapää voi antaa suhteellisen kosteuden arvoksi noin 90 %, kun Vaisala HMP36 antaa lukemaksi noin 75 % (kuva 36). Syyinä kosteuslukemien huomattavaan eroon on mittapäiden rakenne. Vaisala HMP36 vaatii betonin kosteusmittauksissa huomattavasti pidemmän tasaantumisaajan kuin Vaisala HMP44 kosteus- ja lämpötilamittapää saavuttaakseen betonin kanssa kosteustasapainon. Vielä neljän tunnin tasaantumisaajan jälkeen Vaisala HMP36 mittapään lukema poikkeaa Vaisala HMP44 mittapään lukemasta noin neljä prosenttiyksikköä. Tässä yksittäistapauksessa mittalaitteen tasaantumisaajan aiheuttama mittausepävarmuus on 2,4 % suhteellista kosteutta luottamustason ollessa 90 %. Tunnin mittauksessa vastaa mittausepävarmuus on jopa yli 9 % suhteellista kosteutta. Kaiken kaikkiaan mittalaitteen tasaantumisaajan vaikutusta mittausepävarmuuteen on vaikea arvioida, sillä tasaantumisaikaan vaikuttavat merkittävästi muun muassa betonin kosteus ja muut ominaisuudet.



Kuva 36. Neljän erilaisen suhteellisen kosteuden mittapään kosteusarvojen (RH %) muuttuminen ajan funktiona mittapään tasaantuessa betoniin (K30) samalla tavoin tehdyissä (porattu, puhdistettu, tiivistetty) kosteusmittausrei'issä. (Lumme et al. 1997).

Jos nyt esimerkkinä käytetty betonilaatta (kuva 23) tullaan päällystämään materiaalilla, joka edellyttää alustabetonilta alle 80 % suhteellista kosteutta ennen päällystyöhön ryhtymistä, kuivumisaika tavoitekosteuteen kestäisi noin 34 viikkoa (mittaus tehty Vaisala HMP44 mittapäällä). Jos kosteusmittaus tehtäisiin Vaisala HMP36 mittapäällä vuoden 1991 käyttöohjeita noudattaen (mittapään suositeltava tasaantumisaika yksi tunti), mitaustulokseksi voidaan saada alle 80 % suhteellinen kosteus jo silloin, kun todellisuudessa kosteus mittaussyvyydellä olisi vielä noin 90 % eli noin 10 viikon kuivumisen jälkeen. Esimerkkirakenteen kuivumisaikaero voi siis olla yli 20 viikkoa johtuen käytetystä mittapäästä eli tässä tapauksessa mittapään kyvystä saavuttaa kosteustasapaino betoniin poratun mittausreiän ilmatilan kanssa.

6.4 KOSTEUSMITTAUSKOHDAN VALINTA

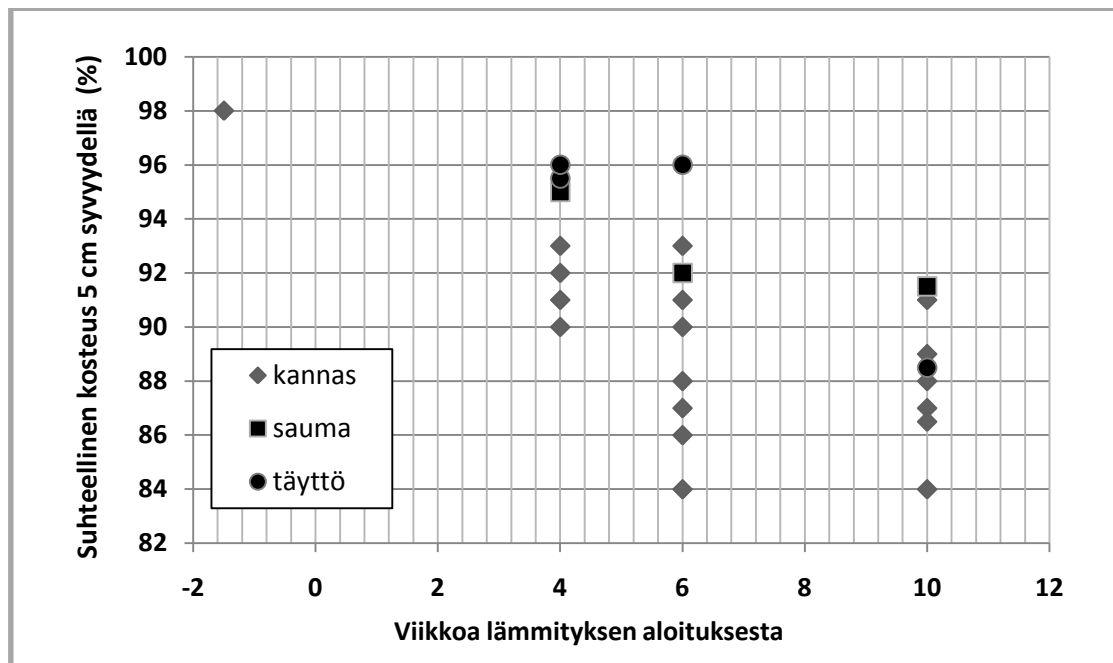
Betonilattian kosteustilaa määritettäessä tarkastelun kohteena on yleensä useiden neliömetrien laajuinen alue. Tarkasteltavana alueena voi olla esimerkiksi yksittäinen huonetiila tai kokonainen huoneisto. Koska betonin suhteellisen kosteuden mittaukset ovat ainetta rikkovia sekä aikaa vieviä, kosteusmittauspisteiden määrä on rajallinen. Käytännössä mittaus tehdään yleensä vain yhdestä kohdasta tarkasteltavaa lattiarakennetta.

Kosteusmittauskohdan valinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa mitaustulokseen, sillä esimerkiksi saman huonetilan betonilattian kosteustila voi vaihdella huomattavasti eri puolilla lattiarakennetta. Syynä kosteusvaihteluun ovat muun muassa kuivumisolosuhte-erot eri kohdissa rakennetta, rakenteessa itsessään vallitsevat betonin ominaisuuksista ja rakenneratkaisusta johtuvat erot sekä rakenteen epätasaisesta kastumisesta johtuvat erot.

Elementtirakenteisissa lattiarakenteissa kuten esimerkiksi ontelolaattaväli- pohjissa betonin suhteellinen kosteus samalta syvyydeltä mitattuna voi vaihdella useita prosenttiyksikköjä riippuen siitä, mistä kohtaa rakennetta – sauman kohdalta, ontelolaatan reiän päältä vai ontelolaatan kannaksen kohdalta – mittaus tehdään. *Olosuhderakentaminen* tutkimushankkeessa (Merikallio et al. 2003) tehdyissä käytännön rakennuskohteiden kosteusmittauksissa ontelolaatasta mitatut suhteellisen kosteuden arvot kuuden viikon kuivumisen jälkeen vaihtelivat välillä 84 – 96 %. Mittaukset tehtiin saman lattiarakenteen eri kohdista 5 cm syvyydeltä (kuva 37). Ontelolaattalattioissa myös pintavalun ja tasoitteen paksuuserot voivat vaikuttaa merkittävästi mittauspisteestä saatavan kosteusmitaustuloksen suuruuteen. Esimerkiksi suunnitelmien mukaan 50 mm pintavalun paksuuden on käytännössä havaittu vaihtelevan 30 mm:stä 70 mm:iin ja siten kosteuspitoisuuseron eri kohdissa olevan jopa yli 5 % -yksikköä suhteellista kosteutta. (Merikallio et al. 2003).

Paikalla valetuissa lattiarakenteissa kosteuspitoisuuserot eri puolella lattiarakennetta ovat yleensä elementtirakenteisia pienempiä johtuen rakenteen yhtenäisyydestä (homogeenisyydestä). Elementtilattiarakenteiden tavoin näissäkin rakenteissa voidaan kuitenkin havaita ulkoisten tekijöiden aiheuttamia kosteuspitoisuuseroja, joista merkittävimpänä voidaan pitää rakenteen epätasaisista kastumisista. Betonilattiarakenteet ovatkin

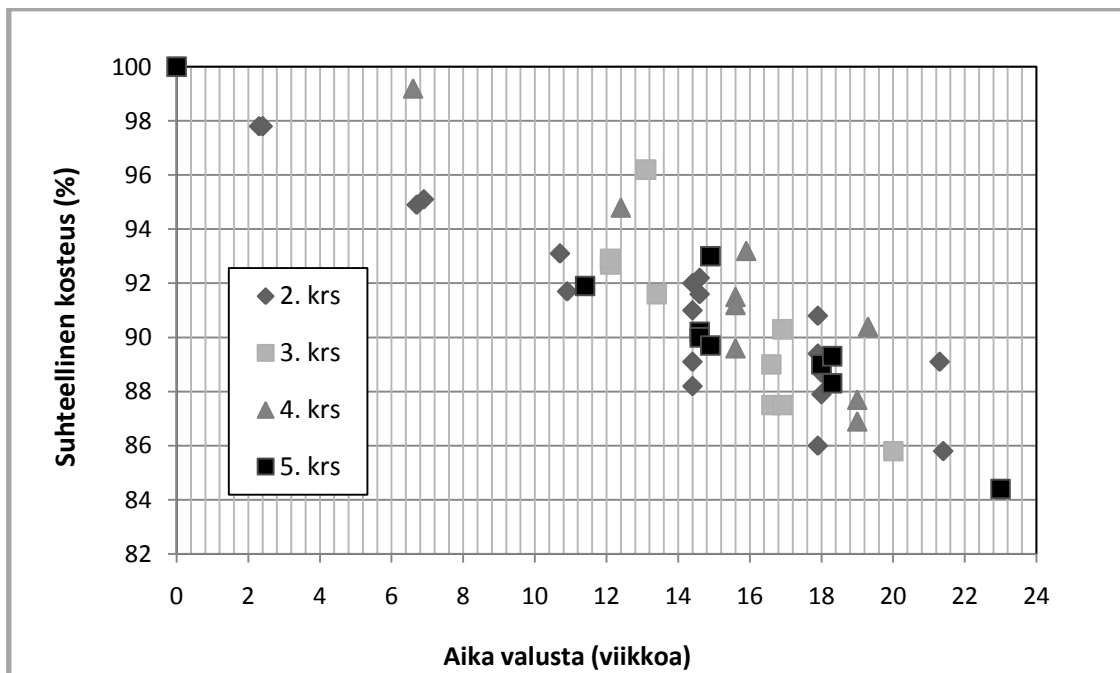
yleensä kosteimpia erilaisten aukkojen kohdalla, missä esimerkiksi sadevesi on päässyt niitä kastelemaan. Lisäksi rakenteet voivat kastua epätasaisesti työmaalla eri tarkoituksiin käytettävän veden ja työmaa-aikaisten vesivahinkojen seurauksena. Kosteuspitoisuusero voi johtua myös eri puolilla rakennetta vallitsevista erilaisista kuivumisolosuhteista kuten ilman lämpötila- ja kosteuspitoisuuseroista. Lattiarakenteessa voi myös olla paikallisia kosteampia kohtia johtuen lattian päällä varastoitujen tavaroiden kosteuden haihtumista estävästä vaikutuksesta. Myös betonilaatu- ja valuajankohtaerot voivat aiheuttaa hajontaa saman lattiarakenteen eri kosteusmittauspisteiden tuloksissa. Todellisen uudisrakennuskohteen saman paikalla valetun lattiarakenteen eri kohdista tehtyjen kosteusmittausten tulokset ovat voineet poiketa toisistaan jopa 5 prosenttiyksikköä (kuva 38). Tämän eron vaikutus mittaustuloksen tulkintaan ja siten myös lattianpäällästyön aloitusajankohtaan voi olla merkittävä.



Kuva 37. Uudisrakennuskohteessa eri kohdista rakennetta mitattuja ontelolaatta-välipohjan (320 mm) suhteellisen kosteuden arvoja. Kosteusmittaukset on tehty 5 cm syvyydeltä ontelolaatan onteloiden välistä (kannas), ontelolaattojen välisestä saumasta (sauma) sekä rakenteessa olevasta ns. kololaatan täyttövalusta (täyttö). (Merikallio 2003, s. 45).

Betonilattian kosteusmittauskohdat tulisi valita siten, että ne parhaiten antaisivat varmuuden tarkasteltavan lattiarakenteen riittävästä kuivumisesta. Kosteusvaurioiden välttämiseksi oleellista on paikallistaa mahdolliset kosteimmat alueet ja tehdä mittaus ainakin niiltä alueilta. Alan ohjeissa kosteusmittauspisteiden sijainnista ja määrästä mainitaan varsin ylimalkaisesti. *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* (RT 14-10675, 1998) ohjekortissa mitattavan tilan lattiarakenteesta neuvotaan valitsemaan 1 - 3 mittauspaikkaa. Ohjeessa esitetään myös esimerkki huonetilan lattiarakenteen mittauskohtien sijainnista. Esimerkissä mitattavasta tilasta on valittu kolme mittauskohtaa, joista kaksi sijaitsee aukkojen (ovi tai ikkuna) edustalla ja yksi ulkonurkassa. Mittauskohdan etäisyydeksi aukosta tai nurkasta esitetään 0,5 m. Ohjeessa mainitaan myös, että mittauspaikan valinnassa tulee ottaa huomioon:

- esijännitetyn betonirakenteen ennakokorotuksesta aiheutuva tasoite- tai pintabetonikerroksen paksuuden muutos
- betonielementtien varastoinnin tai jälkivalujen kautta rakenteeseen tai onteloon mahdollisesti joutunut kosteus tai vesi
- elementtien välisten saumojen kohdat, koska ne ovat muuta rakennetta kosteampia
- lämmittimen sijainti tilassa.



Kuva 38. Uudisrakennuskohteen paikalla valetun 300 mm paksun betonilattiarakenteen (betoni NP30) suhteellinen kosteus ajan funktiona eri mittauspisteissä. (Merikallio 2003, s. 41).

Lattiapäällystealan työohjekortissa nro 81 vuodelta 2003 mittauskohdat neuvotaan valitsemaan siten, että mittauksella saadaan riittävä käsitys rakenteen kosteudesta. Lisäksi mittaus kehoitetaan tekemään sellaisista kohdista, joiden kosteuden oletetaan olevan keskimääräistä suurempi. Ohjeen mukaan mittauksia ei tule tehdä:

- auringon, lämmittimen tms. lämmittämistä kohdista
- rakenteista, joiden lämpötila vaihtelee voimakkaasti
- tiloista, joiden lämpötila vaihtelee voimakkaasti mittauksen aikana

Betonikeskus ry:n julkaisussa *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi* (2002) betonilattioiden kosteusmittaukset suositellaan tehtäväksi kerroksittain vähintään kahdesta huoneistosta ja erikseen kahdesta kylpyhuoneesta seuraavasti:

Mikäli kerroksessa on erilaisia rakenteita, mittaus tulee tehdä jokaisesta rakennetyypistä. Lisäksi mikäli tarkasteltavalla alueella on eri aikaan vallettua aluetta, myös näistä kohdista tulee tehdä erillinen mittaus. Edellä mainituista kohdista valitaan 1-3 mahdollisesti kosteinta kohtaa, joista mittaus tehdään (Merikallio 2002, s. 21).

Betonilattian riittävää kuivumista määritettäessä kosteusmittauskohdan vaikutus määrityksen luotettavuuteen on merkittävä. Lattiarakenteesta tehty yksittäinen kosteusmittaus ei anna varmuutta siitä, että rakenne täyttää kauttaaltaan päällystettävyyteen liittyvät kosteusvaatimukset. Mittauskohdan valinnan aiheuttaman mittausepävarmuuden suuruutta on käytännössä vaikea määrittää eikä sitä mittauksien yhteydessä juurikaan tehdä.

6.5 KOSTEUSMITTAUSREIÄN VALMISTELU

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus RT 14-10675 ohjekortin (1998) mukaan:

Mittaus­syvyys valitaan koko betonirakenteen paksuuden mukaan. Tarvittaessa määritetään rakenteen kosteusjakauma mittaamalla betonin suhteellinen kosteus erisyyksistä rei'istä. Reikiä porataan vähintään kaksi rinnakkaista suunniteltuihin kohtiin. Silloin kun reikiä ei tiivistetä tiivistysputkilla, reiän halkaisija on korkeintaan 2 mm suurempi kuin kosteusan­turin ulkohalkaisija. Poraus­pöly poistetaan reiästä huolellisesti esimerkiksi imurilla. Puhdistamaton reikä antaa liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. Puhdistuksen jälkeen reikä suljetaan tiiviisti joustavalla massalla tai kumi- tai muovitulpalla. Mikäli halutaan tarkempi mittaustulos, porareikä tiivistetään sivuilta tiivistysputkella. Mittaustulos saadaan tällöin putken alapään syvyydestä. Ellei porareikää tiivistetä putkella, mittaus antaa betonin suhteellisen kosteuden keskimääräisen arvon koko reiän syvyydeltä.

Edellä mainittu RT – ohjekortti antaa siis mittaajalle mahdollisuuden valita, tiivistääkö mittausräian sivuilta vai ei. Suomen Betonitieto Oy:n julkaisussa *Betonirakenteiden*

kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi (Merikallio 2002) sekä *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen* (Merikallio et al. 2007) porareikä ohjeistetaan tiivistämään sekä sivuilta että päältä. VTT:n vuonna 1990 julkaisemassa tiedotteessa *Betonirakenteiden kosteudenmittaus työmaaolosuhteissa ja päällystettävyyksivaatimukset* (Nieminen et al. 1990) porareiät ohjeistetaan tiivistämään vuorokauden ajaksi esimerkiksi kumitulpalla tai tiivistysrenkaalla varustetuilla muovitapeilla. Vaisala Oy:n käyttöohjeessa *Betonin kosteuden mittaus* vuodelta 1991 ohjeistetaan seuraavasti:

Poraa betoniin Ø16 mm reikä, jonka syvyys on maapohjalattioissa 40 % ja välipohjissa 20 % laatan paksuudesta. Poista reiästä kaikki betonipöly pölynimurilla ja pulloharjalla ja sulje se kertakäyttöisellä muoviholkilla. Odota vähintään kymmenen tuntia, mutta mieluummin yön yli ennen mittauksen aloittamista. (Vaisala 1991).

Aiemmin Vaisala HMP36 mittapään mukana toimitettavat punaiset 50 mm pitkät mittausholkit eivät ole sivuiltaan umpinaisia. Kyseistä holkkia käytettäessä tulokseksi saadaan keskimääräinen arvo koko reiän syvyydeltä. Mikäli mittaustulokseksi halutaan tietyltä syvyydellä vallitseva kosteus, mittausreikä tulee tiivistää myös sivuilta. Reiän sivujen tiivistämiseen voidaan käyttää mittalaittevalmistajan tätä tarkoitusta varten valmistamia asennusputkia (esim. Vaisala 19266HM asennusputki) tai sähköputkea. Laittamalla halkaisijaltaan 16 mm reikään ulkohalkaisijaltaan 16 mm sähköputki, joka ylettyy reiän pohjalle asti, saadaan sivuiltaan riittävän tiivis mittausreikä. Tällöin tulokseksi saadaan reiän pohjalla vallitseva suhteellisen kosteuden arvo. (Merikallio 2002).

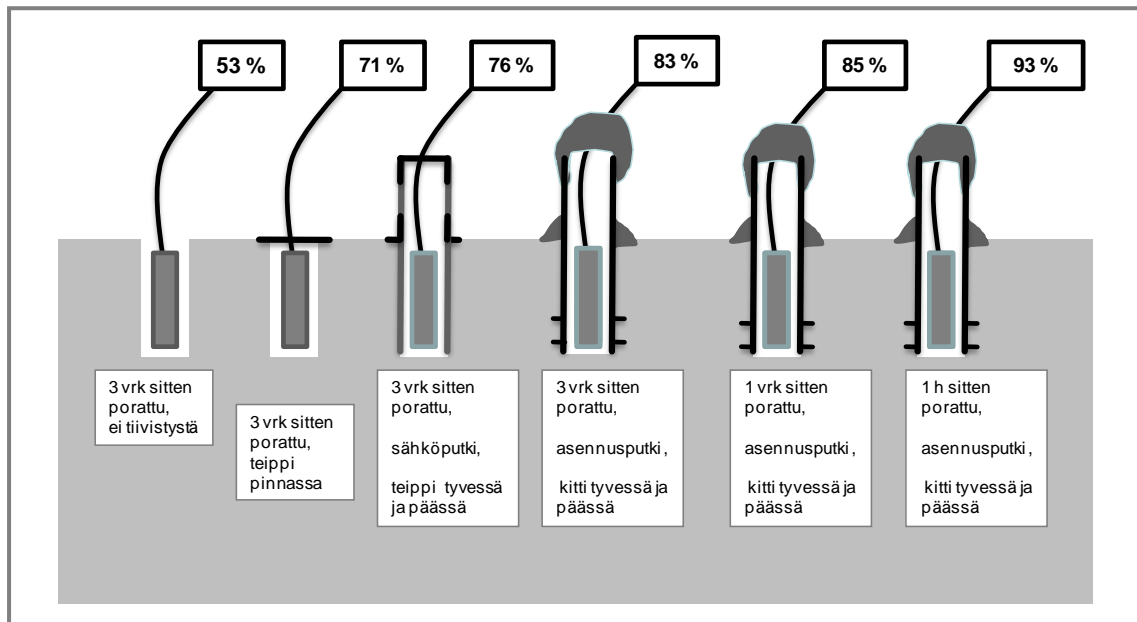
Mittausreiän tiivistyksellä on merkittävä vaikutus mittaustulokseen. Muiden muassa Gärln et al. (1995) ja Niemi (2002) ovat tutkineet, miten erilainen tiivistys betonin ja mittapään välillä vaikuttavat mittaustulokseen. Molemmissa tutkimuksissa on havaittu, että tiivistämällä reikä vain betonin pinnasta saadaan huomattavasti alhaisempi suhteellisen kosteuden arvo, kuin jos reikä on tiivistetty myös sivuilta. Esimerkiksi tiivistämällä mittausreikä vain betonin pinnasta ilmastointiteipillä, tulokseksi voidaan saada jopa yli 10 % -yksikköä alhaisempia arvoja, kuin jos reikä on tiivistetty sekä sivuiltaan sähköputkella että päältä kitillä (kuva 39).

Porauksen, puhdistamisen ja tiivistämisen jälkeen mittausreiän tulee antaa tasaantua ennen varsinaisen mittauksen suorittamista. VTT:n tiedonannon 70 *Betonilattioiden päällystettävyyys* vuodelta 1980 mukaan

Anturi asennetaan reikään tiiviisti aikaisintaan 24 tuntia porauksen jälkeen. Lukemat otetaan aikaisintaan 1–2 tunnin kuluttua anturin asennuksesta. (Siro et al. 1980, s. 34).

Myös vuonna 1990 ilmestyneen VTT:n tiedotteen 1129 *Betonilattioiden kosteudenmittaus työmaaolosuhteissa ja päällystettävyyksivaatimukset* mukaan reiät porataan ja tiivistetään mittausta edeltävänä päivänä (Nieminen et al. 1990, s. 31). Vaisala Oy:n ohjeessa vuodelta 1991 neuvotaan odottamaan porauksen jälkeen vähintään 10 tuntia, mutta mieluiten yön yli ennen mittauksen aloittamista.

Vuonna 1997 ilmestyneessä julkaisussa *Betonin kosteuden hallinta* (Lumme et al. 1997) suositellaan, että porareian tulisi tasaantua betonilaadusta riippuen 3 - 5 vuorokautta ennen mittausta. Vuonna 1998 julkaistussa *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* RT 14-10675 ohjekortissa neuvotaan, että kosteus mitataan 3 - 7 vuorokauden kuluttua reiän poraamisesta ja puhdistamisesta, jolloin tasapainokosteus reiässä on saavutettu. *Nordtest NT Build 475 (1996-11)* mukaan mittaus voidaan tehdä 2 - 6 päivän kuluttua porauksesta. *ASTM F 2170 Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes* mukaan suhteellisen kosteuden mittaus tehdään 72 tunnin kuluttua mittausreiän poraamisesta. Svenska Betongföreningen ohjeistaa julkaisussaan *Betong för sunda golv (1997)* porareian tasaantumisaikaksi 3 - 4 päivää.



Kuva 39. Samasta betonilaatasta samalta mittausyvyydeltä saatuja suhteellisen kosteuden (%) mittauksia, kun muuttujana on käytetty mittausreiän tiivistysmenetelmää tai mittausreiän tasaantumisaikaa porauksen jälkeen. Mittaukset on tehty Vaisala HMP44 mittapäillä, joiden on annettu tasaantua mittausreiässä 1 tunnin ajan ennen kosteusarvon lukemista. Mittausreiät on porattu Ø16 mm poranterällä ja porauspöly on imuroitu pois välittömästi porauksen jälkeen. Luotettavin tulos 85 %. (Niemi 2000).

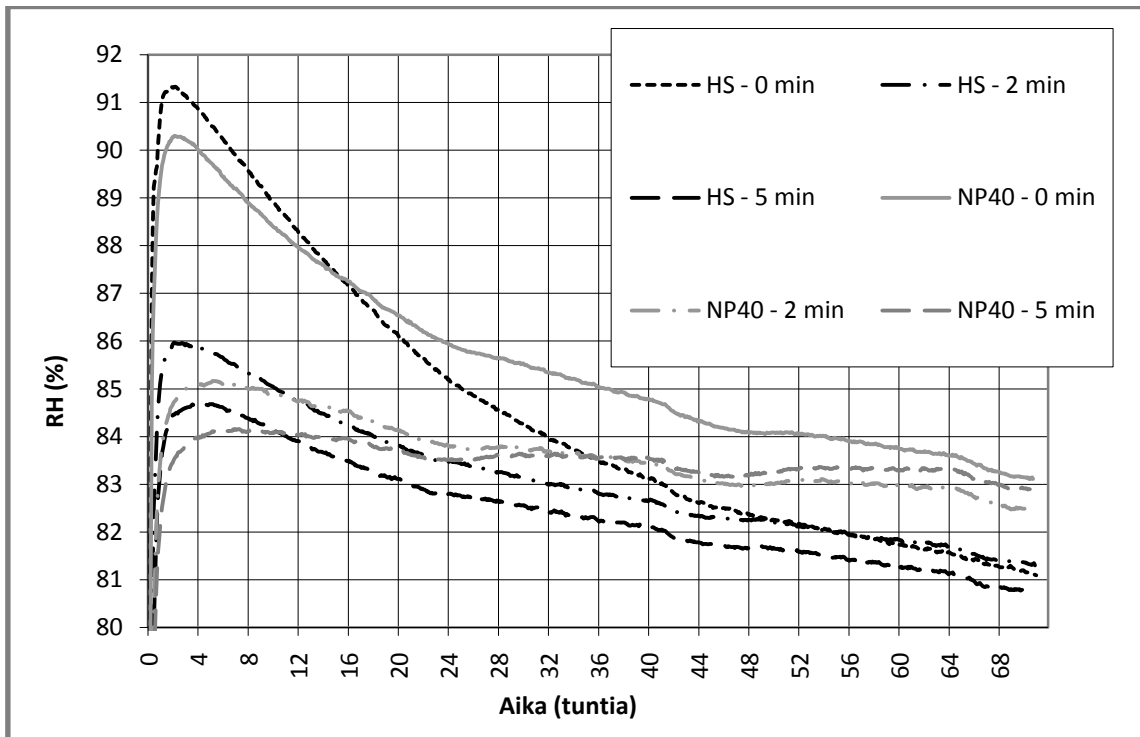
Myös jotkut kosteusmittalaitteiden valmistajat antavat ohjeita betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseksi. Vaisala Oyj:n käyttöohjeessa Vaisala HUMICAP rakenteiden kosteusmittalaite HM44 (Vaisala 2006) neuvotaan seuraavasti:

Ennen kuin mittaukset betonista HM44-mittalaitteella voidaan aloittaa, on odotettava noin kolme vuorokautta, jotta poratun reiän kosteus saavuttaa tasapainon betonin kosteuden kanssa. Jos mittapää ei vielä ole asennusholkissa sisällä, työnnä se sinne ja odota vähintään 30 minuuttia.

Testo Oy:n julkaisemassa ohjeessa *Field guide, Building moisture* (Testo 2005) suositellaan odottamaan porauksen jälkeen 1 - 2 tuntia, jotta porauksen aiheuttama lämpötilan nousu ja kuivuminen on poistunut. Protimeter MMS ohjeessa *Moisture Measuring System, Instruction Manual* (Protimeter 2005) neuvotaan poraamaan mittausreikä 24 tuntia ennen mittausa. Kosteudenhallinta- ja kuivatuspalvelua tarjoavan Munters – konsernin kotisivuilta löytyy ohje, jonka mukaan betoniin porattu mittausreikä saavuttaa tasapainon 12 - 24 tunnissa (www. munters.com, luettu 21.2.2007).

Mittausreiän poraus nostaa betonin lämpötilaa mittausreiän läheisyydessä. Poraus vaikuttaa myös betonin huokosten kosteuteen niin, että huokosilman suhteellinen kosteus nousee. Vuonna 1990 Pastrav havaitsi tutkimuksessaan, että porauksen vaikutuksesta noussut lämpötila palautuu lähtötasolle muutamassa tunnissa, mutta suhteellisen kosteuden nousun palautuminen kestää lähtötasolle useita vuorokausia. Pastravin (1990) tutkimuksessa betonista, jonka suhteellinen kosteus oli noin 73 %, saatiin mittauksiksi jopa yli 90 % suhteellisen kosteuden arvoja, kun mittaus tehtiin välittömästi porauksen jälkeen. Vastaavanlaisia tuloksia on saatu myös muista myöhemmistä tutkimuksista (esim. Gärling et al. 1995; Lumme et al. 1997; Niemi 2001). Nämä tutkimukset ovat osoittaneet, että betonin suhteellisen kosteuden palautuminen normaalitasoon porauksen jälkeen voi kestää jopa yli viikon. Porauksen vaikutuksen on havaittu olevan yleensä sitä suurempi, mitä kuivempi betoni on. Betonin ollessa hyvin kostea, suhteellinen kosteus porareikässä ei voi porauksen vaikutuksesta juurikaan nousta, mutta kun kyseessä on suhteellisen kuiva betoni, porauksen vaikutus voi olla jopa 15 - 20 prosenttiyksikköä.

Betonirakenteeseen suhteellisen kosteuden mittausreiän valmistelulla on merkittävä vaikutus mittauksien tulokseen. Jos mittaus tehdään liian aikaisin porauksen jälkeen, saatu mittauksien tulos voi olla todellista huomattavasti korkeampi. Koska porauksen suhteellisen kosteuden arvoa nostava vaikutus on riippuvainen muun muassa betonin kosteudesta, betonilaadusta, porauksen kestosta, poraterän terävyydestä ja porauspölyn poistamiseksi suoritettujen imurointiajan pituudesta, vaikutuksen todellista suuruutta on mahdotonta arvioida. Niemi (2001) on selvittänyt muun muassa mittausreiän imurointiajan pituuden vaikutus mittausreiän suhteellisen kosteuden tasaantumiseen (kuva 40). Testissä kahteen eri betonilaadusta (korkealujuusbetoni HS ja nopeasti päällystettävä betoni NP40) valmistettuun koelaattaan tehtiin mittausreiät imurointiajan pituutta lukuun ottamatta samalla tavalla. Jos nyt testikappaleen HS mittausreiästä, jossa imuroinnin pituus on vain muutamia sekunteja (0 min) tehtäisiin mittaus 10 tunnin kulutta porauksesta, suhteellisen kosteuden arvoksi voitaisiin saada noin 89 %. Kolmen vuorokauden (72 tunnin) odottamisen jälkeen tulokseksi tulisi noin 81 %. Mittauksien tulosten vaikutus esimerkiksi betonirakenteen kuivumisaikaan ennen päällystyöhön ryhtymistä on merkittävä.



Kuva 40. Porareian imuroinnin vaikutus betonin suhteellisen kosteuden mittaustulokseen ajan funktiona porauksen jälkeen kahdessa eri betonilaadusta (nopeasti päällystettävä NP40 ja korkealujuusbetoni HS) valmistetussa koekappaleessa. Porareikien imurointiajat olivat 0 min, 2 min tai 5 min. (Niemi 2001).

6.6 LÄMPÖTILAN VAIKUTUS BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAAMISESSA

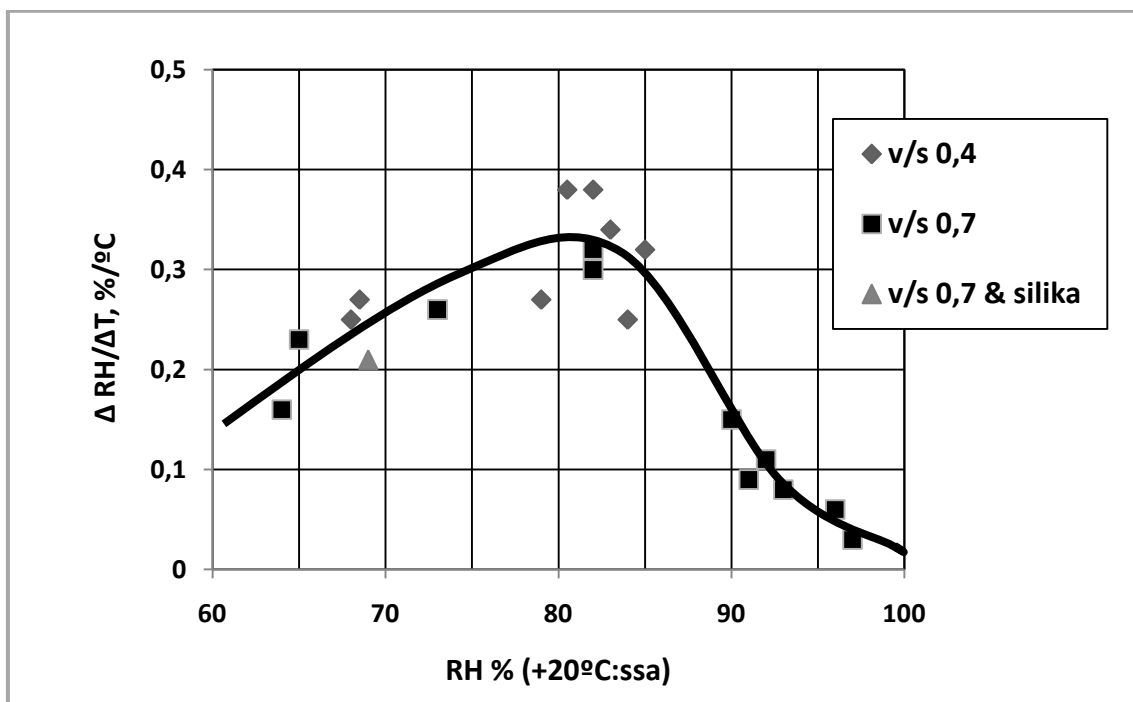
Lämpötilalla on merkittävä vaikutus betonin suhteellisen kosteuden mittaamisessa. Ensinnäkin lämpötila vaikuttaa mittalaitteen kalibroinnissa. Kalibroinnissa käytettävien kylläisten suolaliuosten saavuttama tasapainokosteus (RH) on lämpötilariippuvainen. Lisäksi lämpötilaero kylläisen suolaliuoksen ja liuoksen yläpuolella olevan ilman välillä vaikuttaa referenssikosteuden arvoon. Myös lämpötilan muuttuminen kalibroinnin aikana voi aiheuttaa virheen. (Hedenblad 1995; Fredin et al. 2005).

Mikäli mittauslämpötila on eri kuin mittalaitteen kalibroitilämpötila, mittausvirhe voi olla jopa 15 – 20 prosenttiyksikköä suhteellista kosteutta mittalaitteilla, joissa ei ole sisäänrakennettua lämpötilakorjausta (Taylor et al. 1994). Markkinoilla olevien mittalaitteiden sekä kosteusmittaus- että lämpötilamittaustarkkuudet on yleensä ilmoitettu

+20 °C lämpötilassa. Myös kalibrointi tehdään yleensä +20 °C lämpötilassa (Fredin et al. 2005, s. 5)

Kosteusmittauksen tekeminen rakenteen käyttölämpötilasta poikkeavassa lämpötilassa voi aiheuttaa merkittävän mittausvirheen. Jos mittaus tehdään käytönaikaista lämpötilaa alhaisemmassa lämpötilassa, tulokseksi voidaan saada alhaisempi suhteellisen kosteuden arvo, kuin mikä rakennuksen käytön aikana vallitsee. Jos taas mittaus tehdään normaalitilaa lämpöisemmästä betonista, esimerkiksi kuivatuksen aikana, tulokseksi voidaan saada todellista korkeampi suhteellisen kosteuden arvo. Syynä tähän ilmiöön on se, että betonin lämpötilan noustessa betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus nousee betonin kosteuspitoisuuden (kg/m^3) pysyessä kuitenkin samana (Fredin et al. 2005, s. 10).

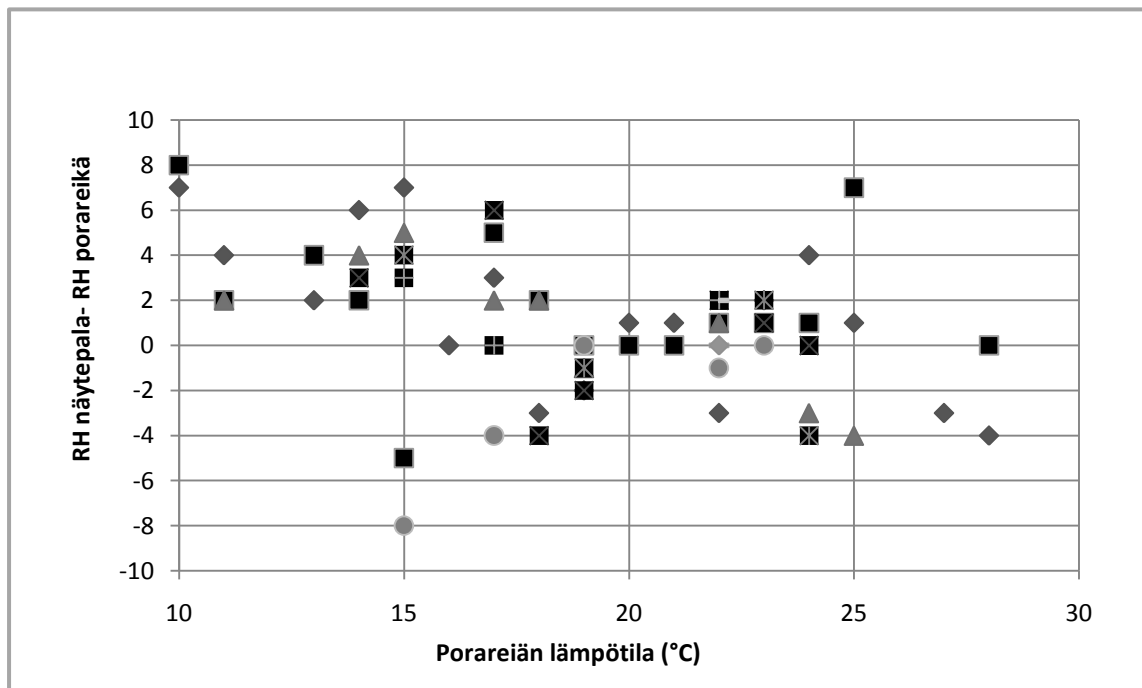
Nilsson teki vuonna 1987 tutkimuksen, jonka tavoitteena oli selvittää, miten lämpötilamuutokset (+5 °C...+30 °C) vaikuttavat betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen. Mittaukset tehtiin kolmelle eri betonilaadulle. Tutkimuksen tuloksena syntyi muunnoskäyrä (kuva 41), jota myöhemmin on käytetty käytännön mittauksissa korjaamaan niiden mittauksen tuloksia, joissa lämpötila poikkeaa +20 °C:sta (Nilsson 1987). Esimerkiksi, jos betonin suhteellisen kosteuden arvoksi +5 °C:n lämpötilassa saadaan 80 %, tulee muunnoskäyrää käytettäessä betonin suhteellisen kosteuden arvoksi +20 °C:n lämpötilassa noin 85 % ($80 + 0,35 \cdot 15$). Kerroin 0,35 on saatu käyrän kohdalta 80 % ja 15 on lämpötilaero (Svenska Betongföreningen 1997, s. D-14).



Kuva 41. Betoninlämpötilan vaikutus betonin huokosilman suhteelliseen kosteuteen, kun betonin kosteussisältö pysyy vakiona (Svenska Betongföreningen 1997, s. D14).

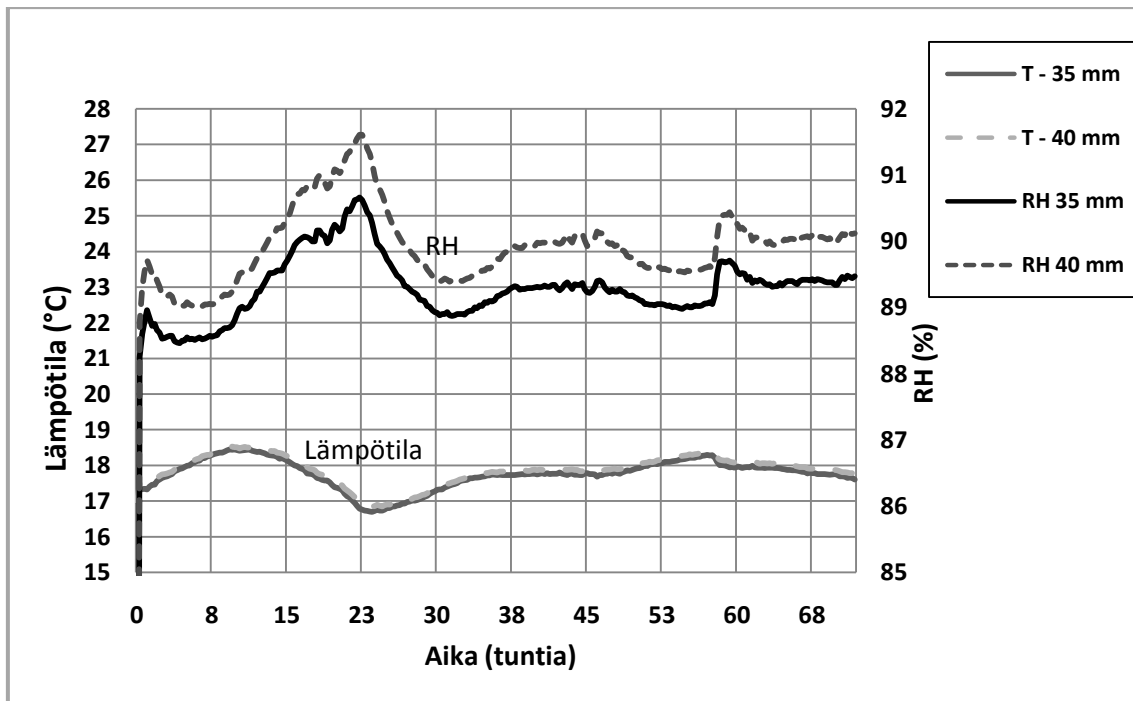
Monet myöhemmät tutkimukset (mm. Malmivaara et al. 1998; Sjöberg et al. 2002; Merikallio 2002; Fredin et al. 2005) ovat kuitenkin osoittaneet edellä esitetyn käyrän liian epätarkaksi ja puutteelliseksi. Betonin suhteellisen kosteuden muuttumisen lämpötilan muuttumisen myötä on havaittu olevan riippuvainen erityisesti betonin huokosraken- teesta, hydratoitumisasteesta, vesi-sideainesuhteesta, iästä, kosteudesta sekä mittalait- teesta (Nilsson 1987; Sjöberg et al. 2002; Merikallio 2002). Esimerkiksi jollakin beto- nilla mitattu suhteellisen kosteuden arvo $+20\text{ °C}$ lämpötilassa voi olla 7 prosenttiyksik- köä korkeampi kuin $+15\text{ °C}$ lämpötilassa mitattuna, mutta toisaalta jollakin toisella be- tonilla tilanne voi olla täysin päinvastoin: viileämmästä betonista onkin saatu jopa 8 prosenttiyksikköä korkeampia (kuva 42). Fredin et al. (2005) mukaan lämpötilakorjaus- kertoimien laadinta on täysin mahdollista, mutta silloin pitää ottaa huomioon jokainen eri betonilaatu sekä eri mittalaitteet. Käytännössä muuttujien määrä on niin suuri, ettei riittävän tarkkoja lämpötilakorjauskertoimia ole pystytty laatimaan.

Jos kosteusmittaustuloksia tulkitaan vain suhteellisen kosteuden arvon perusteella otta- matta huomioon lämpötilaa, seurauksena voi olla mittaustuloksen perusteella tehty vir- heellinen johtopäätös. Esimerkiksi, jos betonilattiarakenteen lämpötila on kosteusmitta- ushetkellä $+18\text{ °C}$ ja suhteellisen kosteuden arvoksi saadaan 85 %, rakenne voidaan todeta päällyskelpoiseksi esimerkiksi muovimatolla. Jos päällystämisen jälkeen raken- teen lämpötila nousee huomattavasti, esimerkiksi $+25\text{ °C}$:een, suhteellinen kosteus muovimaton alla voi nousta kriittisen korkeaksi.



Kuva 42. Betonin suhteellisen kosteuden ero (RH näytepala – RH porareikä), kun eri lämpötiloissa (porareiän lämpötila $^{\circ}\text{C}$) olevan betonikoekappaleen kosteusmittaus on tehty porareikämenetelmällä ja $+20\text{ °C}$:n lämpötilassa näytepalamenetelmällä. Porareikämittauksessa mittauslämpötila on sama kuin koekappaleen lämpötila ($+10\text{...}+28\text{ °C}$) (Merikallio 2002, s.18).

Lämpötilan aiheuttama mittausvirhe voi syntyä myös, jos mittalaitteen (RH-anturin) ja mitattavan betonin lämpötila poikkeavat toisistaan. Jos RH-anturin lämpötila on korkeampi kuin betonin, tulokseksi saadaan todellista alhaisempia suhteellisen kosteuden arvoja. Jos anturin lämpötila on taas alhaisempi kuin betonin, tulokseksi saadaan todellista korkeampi arvo. Ilmiö johtuu siitä, että mittausreiän ilmatilassa vesihöyrystisältö pysyy samana betonin lämpötilan ollessa vakio, mutta mittalaitteen kyllästyskosteuspitoisuus muuttuu lämpötilan muuttuessa, jolloin myös mittalaitteen näyttämä suhteellisen kosteuden arvo muuttuu (Sjöberg 1998). Betonin suhteellisen kosteuden ollessa 90 % ja lämpötilan ollessa +20 °C yhden celsiusasteen (1 °C) lämpötilaero mittalaitteen ja betonin välillä voi aiheuttaa jopa 5 prosenttiyksikön suuruisen mittausvirheen (Hedenblad 1999, s. 44). Pienetkin lämpötilamuutokset ympäristössä voivat muuttaa mittalaitteen lämpötilaa vaikuttaen siten myös mittaustuloksena saatavaan suhteellisen kosteuden arvoon (kuva 43).



Kuva 43. Sisäilman lämpötilan muutoksen vaikutus mittaushetkellä mittalaitteen lämpötilaan ja sitä kautta porareistä mitattavaan betonin suhteellisen kosteuden arvoon. (Malmivaara et al. 1998).

Useimmissa kosteusmittausohjeissa on jokin maininta lämpötilasta ja sen vaikutuksesta mittaustulokseen. RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mitta*us ohjekortissa (1998) lukee seuraavasti:

Mitattaessa tulee rakennusosan ja ilman lämpötilan olla vähintään sama kuin ko. tilan käyttölämpötila eli yleensä noin +20 °C. Jos betonia on kuivatuksen takia lämmitetty, annetaan betonin jäähtyä +20 °C lämpötilaan ennen mittausta. Jos lattiaan on asetettu lattialämmitys, ei lämpötila saa olla yli +35 °C.

Ohjekortissa on myös maininnat, että mittausmenetelmä on herkkä lämpötilan vaihteluille, ja että lämpötilan muutoksen aiheuttama betonin suhteellisen kosteuden muutos riippuu betonin lajista, iästä ja kosteusjakaumasta. Lisäksi mainitaan, että muutaman asteen lämpötilan muutos voi vaikuttaa mittaustulokseen useita prosentteja.

Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry:n julkaisemassa lattiapäällystealan työohjekortissa nro 81 *Kosteusmittaus betonista* (2003) lämpötilasta mainitaan seuraavasti:

Mitattavan tilan ilman lämpötilan vaihtelu mittauksen aikana saa olla korkeintaan ± 5 °C. Mitattavan rakenteen lämpötilan tulee mittauksen aikana olla korkeampi kuin ± 5 °C.

Ohjeistuksessa on todennäköisesti painovirhe rakenteen lämpötilan kohdalla. Merkin ” \pm ” kohdalla pitäisi todennäköisesti olla ”+” merkki kuten on muuten samanlaisessa lauseessa VTT:n tiedotteessa 1129 *Betonirakenteiden kosteusmittaus työmaaolosuhteissa ja päällystettävyyysvaatimukset*, missä edellytetään että mitattavan rakenteen lämpötila tulee mittauksen aikana olla korkeampi kuin + 5 °C. (Nieminen et al. 1990, liite 4).

Suomen Betonitieto Oy:n julkaisemassa kirjassa *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi* (Merikallio 2002, s. 16) lämpötilasta on kirjoitettu seuraavasti:

Porareikämittausta tehdessä betonirakenteen lämpötilan tulee olla lähellä rakennuksen käyttölämpötilaa eli yleensä noin +20 °C. Jos betonin lämpötila poikkeaa +20 °C asteesta korkeintaan 5 °C, lämpötilan aiheuttama virhe suhteellisen kosteuden arvoon on yleensä ± 0.5 % -yksikköä siten, että lämpötilan ollessa alle +20 °C astetta kosteusarvot ovat yleensä todellista alhaisempia ja lämpötilan ollessa yli +20 °C astetta kosteusarvot ovat yleensä todellista korkeampia. Jos lämpötila mittaushetkellä poikkeaa edellä mainituista (+15...+25 °C), mittausrvirhe voi hyvinkin suuri ja täysin hallitsematon. Tästä syystä porareikämittausta tehdessä betonin lämpötila tulisi olla välillä +15...+25 °C.

Joissakin lattianpäällystämiseen liittyvissä ohjeissa (esim. by12 ja VTT tiedote 1129) on suhteellisen kosteuden enimmäisarvojen yhteydessä maininta, että mitattaessa lattian ja ilman lämpötilan tulee olla vähintään sama kuin lattian käyttölämpötila eli yleensä noin +20 °C. Monissa ohjeissa kosteusraja-arvojen yhteydessä ei ole mitään mainintaa lämpötilasta (esim. by45/BLY7, by47, SisäRYL 2000). Suomen Betonitieto ry:n julkaisujen *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi* (Merikallio 2002) sekä

Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen (Merikallio et al. 2007) mukaan betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä voidaan tehdä, kun betonin lämpötila on välillä +15 °C...+20 °C.

Yhdessäkään edellä mainitussa ohjeessa ei ole tarkempaa ohjetta lämpötilan aiheuttaman virheen suuruuden arvioimiseksi. Osaltaan todennäköisesti siksi, että lämpötilaerojen ja lämpötilamuutosten aiheuttamien yksittäisten mittausvirheen suuruuden arvioiminen on betonin ominaisuuksista ja suuresta muuttujien määrästä johtuen lähes mahdoton tehtävä.

6.7 MITTAUSEPÄVARMUUDEN HUOMIOON OTTAMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ

Kosteusmittaustulosta ilman selvitystä mittauksen luotettavuudesta voidaan pitää merkityksettömänä. Kaikkia mittaustulokseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden vaikutuksen suuruutta ei pystytä koskaan täysin selvittämään, mutta kosteusmittaajalla pitää olla riittävä kyky tunnistaa ja vähentää mittaukseen merkittävästi vaikuttavia virhelähteitä sekä määrittää niiden vaikutus mittaustulokseen eli arvioida mittausepävarmuutta. (Heinonen 2006.)

Mittausraportissa pitäisi aina olla mittalaitteen antaman lukeman lisäksi arvio mittauksen luotettavuudesta sekä tarkka selvitys, miten mittaus on tehty ja mihin arvio luotettavuudesta perustuu (Heinonen 2006). Kosteusmittauksessa korostuvat muista kuin mittarista aiheutuvat virhelähteet, joiden vaikutus mittauksen täytyy arvioida. (Heinonen 2001).

Tutkimuksen tässä osassa selvitettiin, mikä on todellisissa kohteissa tehtyjen kosteusmittausten luotettavuus erityisesti jäljitettävyyden osalta. Selvitystä varten vakuutusyhtiö Tapiola luovutti tutkijalle kaksi CD-levyketä, joista toinen sisälsi 4628 kosteuskartoitusraporttia vuodelta 2006 ja toinen 2334 raporttia vuodelta 2007. Näistä valittiin satunnaisesti 450 raporttia, joista tarkempaan tarkasteluun otettiin betonilattioiden kosteudenmittauksia sisältäneet 150 raporttia. Kyseisessä tarkastelussa selvitettiin, oliko raporteista ilmoitettu:

- käytetyt mittausmenetelmät ja -laitteet
- mittalaitteiden kalibrointiajankohta
- mittalaitteen tarkkuus
- mittausmenetelmäkuvaus sisältäen mm. porauspäivämäärän, mittauspäivämäärän ja mittapään tasaantumisaajan
- mittauksen tarkkuus (mittausepävarmuus).

Tarkastetut raportit oli tehty usean eri kosteusmittauksia ja kuivatuspalveluja tarjoavan yhtiön nimissä. Raporteista 46 kpl:ta oli Munters Oy:n, 17 kpl:ta Lassila & Tikanoja Oy:n, 16 kpl:ta ISS:n, 10 kpl Rakentajan konevuokraamon ja 9 kpl Anticimes Oy:n nimissä tehtyjä. Muita tahoja, joiden raporttien määrä oli 1-5, olivat Cramo Oy, JK Tek-

niikka, Oulun kosteustutkimus, HC-service Oy, Järviseudun kuivatus Oy, Pieksämäen kuivatus Oy, A-kuivaus Oy, Tehokuivaus, PPP tarkastuspalvelut, Pohjois-Suomen kuivaustekniikka Oy, Meri-Lapin kuivaustekniikka Oy, E-P rakennekuivaus Oy, WD kuivaus ja Korpikorpi Oy.

Tarkastelussa ilmeni, että kosteuskartoitukset ja -mittaukset oli pääosin tehty pintakosteusmittauksin sekä mittaamalla joko lattiarakenteen välissä olevan tai alapuolisen eriste-kerroksen suhteellinen kosteus. Vain 11 %:ssa tapauksessa oli raportoitu tehdyksi myös betonin suhteellinen kosteus joko porareikämenetelmällä tai näytepalamenetelmällä. 37 %:ssa tapauksista mittaukset on tehty vain pintakosteusmittarilla.

Kahta tapausta lukuun ottamatta raporteissa oli jollain tavoin ilmoitettu, mitä laitteita mittauksissa oli käytetty. Mittalaitteiden tarkkuudesta oli maininta 43 %:ssa raporteista. Tarkkuus koski kaikissa läpikäydyissä raporteissa suhteellisen kosteuden mittalaitteen (yleensä Vaisala HMI 41 näyttölaitteen ja Vaisala HMP 42 mittapään) tarkkuutta, jonka laitteen valmistaja oli ilmoittanut. Näistä raporteista, joissa suhteellisen kosteuden mittalaitteiden tarkkuus oli ilmoitettu, 43 %:ssa ei kuitenkaan mainittu tehdyksi yhtään suhteellisen kosteuden mittausta.

Mittalaitteiden kalibrointiajankohta oli ilmoitettu 4 %:ssa raporteista. Kokonaismittaus-tarkkuudesta oli maininta 6 %:ssa. Minkäänlaisia selityksiä siitä, mistä tämä kokonaismittaus-tarkkuus tulee, ei kuitenkaan ollut yhdessäkään.

Tapauksissa, joissa betonin kosteus oli mitattu porareikä- tai näytepalamenetelmällä (17 tapausta), vain yhdessä oli jonkinlainen mittausmenetelmäkuvaus. Seitsemässä raportissa ei ollut mainintaa mittaussyvyyttä. Vain kahdessa raportissa oli ilmoitettu mittausreikien porausaika suhteessa mittaushetkeen. Mittausreian tiivistystapaa ei selitetty yhdessäkään raportissa. Joissakin raporteissa on maininta, että betonin kosteusmittaus tehdään RT 14-10675 ohjekortin mukaan, mutta nyt tarkastelluista raporteista tämä maininta löytyi vain sellaisista, joissa suhteellisen kosteuden mittauksia ei tehty lainkaan.

Kosteusmittausten raportoinnissa näyttäisi olevan paljon puutteita, vaikka useimmat edellä mainittujen mittausraporttien laatijoista ovat niin sanottuja pätevyityneitä kosteudenmittaajia tai sertifioituja rakenteiden kosteudenmittaajia.

6.8 KOSTEUSMITTAAJIEN KOULUTUS JA OSAAMINEN

Kosteusmittauksessa mittajaan ja tulosten tulkitsijan osaaminen on tärkein tekijä tulosten luotettavuuden kannalta. Mittaajalla ja hänen taidoillaan on merkittävä vaikutus mittaustulokseen. Ensinnäkin mittaaja yleensä valitsee käytettävän mittausmenetelmän ja mittalaitteen sekä huolehtii mittalaitteen kunnosta ja kalibroinnista. Mittaajan osaaminen ja huolellisuus vaikuttavat mittalaitteen toimintaan ja itse mittaukseen suorittamiseen. Mittaaja voi myös vaikuttaa mittauspisteeseen ja mittalaitteeseen lämmittämällä niitä ja tuottamalla kosteutta. Lisäksi mittaajan ennakkoasenteet ja toiveet voivat vaikuttaa mittaustulokseen. (Heinonen 2001).

Suomessa kosteusmittauksen luotettavuutta on pyritty parantamaan muun muassa järjestämällä aihealueeseen liittyvää koulutusta sekä vaatimalla kosteusmittaajilta erilaisia pätevyyskysymyksiä. Vaadittavan koulutuksen, kokeen ja näyttötyön läpäissyt henkilö voi olla esimerkiksi niin sanottu *pätevöitynyt kosteudenmittaaja* tai *sertifioitu rakenteiden kosteudenmittaaja*. Asumisterveysoppaan (2005) mukaan sekä pätevöityneet kosteudenmittaajat että sertifioidut rakenteiden kosteudenmittaajat täyttävät terveydensuojelulain vaatimukset toimia terveydensuojeluviranomaisille tutkimuksia ja selvityksiä tekevänä asiantuntijana. Saman pätevyysvaatimuksen täyttävät myös VTT:n sertifioimat rakennusterveysasiantuntijat ja lämpökuvaajat. Myös Vahinkourakointiliikkeiden auktorisointivaatimuksissa edellytetään, että kuivatusliikkeellä ja kosteuskartoitusliikkeellä tulee olla palveluksessaan pätevöitynyt tai sertifioitu kosteusmittaaja tai kosteuskartoittaja. (Vahinkourakointiliikkeiden auktorisointivaatimukset 2006).

Pätevöityneen kosteudenmittaajan nimikettä on oikeutettu käyttämään henkilö, joka on suorittanut kosteudenmittaajan tutkinnon. Kosteudenmittaajan tutkinto on Finanssialan Keskusliiton ohjaaman ja valvoman kosteudenmittaajakoulutuksen valtakunnallinen lopputentti. Tutkinnon tarkoituksena on pätevöittää henkilö suorittamaan luotettavia kosteusmittauksia ja –kartoituksia moninaisiin kiinteistö- ja rakennusalan tarpeisiin. Koulutusohjelma käynnistettiin vuonna 1999. (Kauppi 2002).

Sertifioidut rakenteiden kosteudenmittaajat ovat käyneet kosteudenmittaajakoulutuksen sekä suorittaneet hyväksyttävästi kurssitentin ja näyttötyön. Henkilösertifiointi on EN 45013 standardin kuvaama menettely, jonka avulla varmennetaan, että sertifioidut henkilöt pystyvät ja osaavat tuottaa sertifiointissa määritettyjä palveluja. Puolueettomana sertifiointielimenä toimii Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), josta henkilösertifikaatin voi hakea, kun koulutus, tentti ja näyttötyö on läpäisty. Henkilösertifioitujen rakenteiden kosteudenmittaajien koulutusohjelma käynnistyi vuonna 2002.

Pätevöityneen kosteudenmittaajan edellytetään tekevän kosteuskartoitusraportti Finanssialan keskusliiton kosteuskartoitusohjeen ja raporttimallin mukaisesti. Raportissa on esitettävä muun muassa kosteusmittauslaitteen tyyppi ja –malli, kalibrointipäivämäärä, mittalaitteen nimellistarkkuus, kokonaismittaustarkkuus, mittaussyvyys, mittaussuureiden puhdistaminen, tiivistäminen, mittaussuuren tasaantumisaika sekä anturin tasaantumisaika. (Finanssialan keskusliitto 2007).

Henkilösertifioidun rakenteiden kosteudenmittaajan odotetaan tuntevan rakennusfysiikkaan liittyvät lämpö- ja kosteustekniikan perusteet sekä osaavan soveltaa niitä rakennusten, rakenteiden ja materiaalien lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa arvioitaessa. Hänen tulee tuntea muun muassa kosteuden lähteet ja olosuhteet, kosteuden siirtymismuodot ja niihin vaikuttavat tekijät, kosteuden ja lämpötilan muutosten vaikutus rakenteissa ja materiaaleissa, kastumiseen ja kuivumiseen liittyvät ilmiöt, materiaalien kriittiset kosteuspitoisuudet ja erilaisten rakenteiden normaalit kosteuspitoisuudet eri vuodenaikoina. (RATEKO 2008).

Mittaustyön lisäksi itse mittaukseen liittyviä osaamisvaatimuksia ovat; osata kalibroida mittavälineet sekä tuntea kalibroinnin merkitys, osata tehdä mittaussuunnitelma, tunnistaa mittaukseen liittyvät epävarmuustekijät sekä osata laatia mittausspöytäkirja. Erityisen tärkeää on tulkita mittaustuloksia oikein ja tehdä tuloksista oikeat johtopäätökset sekä

osata kirjoittaa selkeä ja helposti ymmärrettävä mittausraportti. Raportissa on tärkeää tulosten ja johtopäätösten lisäksi tarkasti kuvata, miten mittaus on tehty. (RATEKO 2008).

Tutkimuksen tässä osassa selvitettiin, millainen on Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO:n järjestämän *Rakenteiden kosteudenmittaaja* koulutusohjelmaan maaliskuun 2002 - lokakuun 2006 välisenä aikana osallistuneiden henkilöiden pohjakoulutus, kosteusmittauskokemus sekä oma käsitys rakennusfysiikan hallitsemisesta ennen koulutusta ja miten kyseiset henkilöt menestyivät tutkintokokeessa (tentissä). Selvityksen tarkoituksena on hahmottaa, millaiset edellytykset nykyisillä kosteudenmittaajilla on muun muassa tiedostaa mittaukseen liittyvät epävarmuustekijät sekä määrittää kokonaismittausepävarmuus.

Tutkimuksen aineistona käytettiin RATEKO:n laatimia kyselykaavakkeita, jotka koulutukseen osallistuneet näyttivät koulutuksen alussa, sekä koulutuksen lopussa pidetyn tentin tuloksia. Myös tenttitehtävät olivat tutkijan käytettävissä. Koulutuksen alussa tehdyssä kyselyssä tiedusteltiin seuraavia koulutukseen osallistuvaan henkilöön liittyviä seikkoja:

1. Nimi, syntymäaika ja yhteystiedot
2. Koulutus ja valmistumisvuosi
3. Työkokemus
4. Kokemus kosteusmittauksesta
5. Oma arvio rakennusfysiikan (lämpö- ja kosteustekniikan) osaamisesta ennen koulutusohjelmaan osallistumista
6. Oletko osallistunut aikaisemmin kosteusmittauskoulutukseen? Mihin?

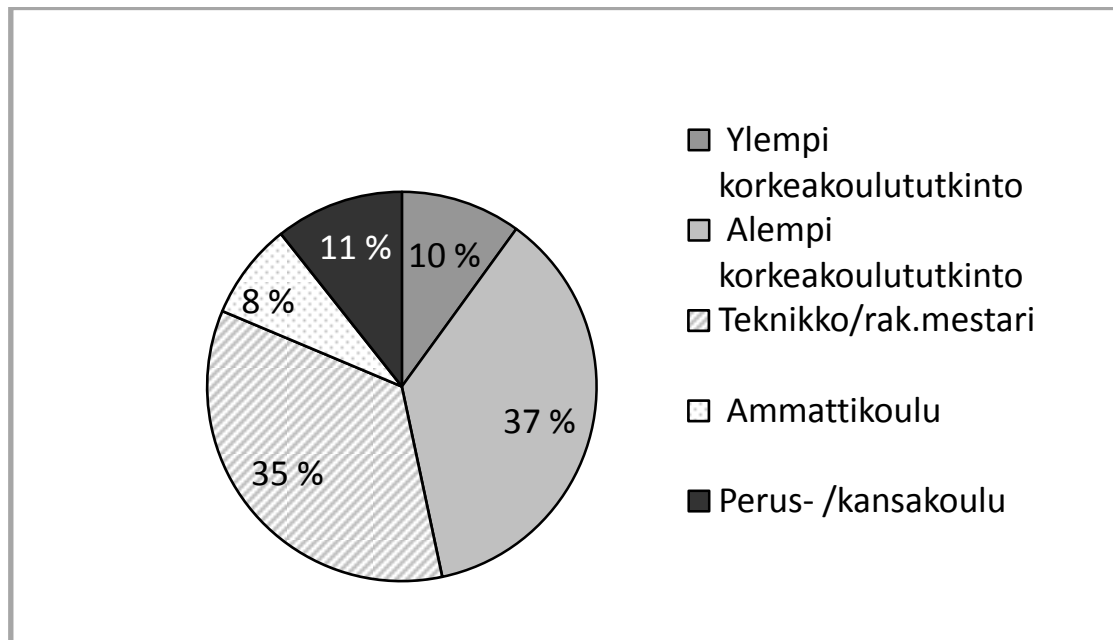
Edellä mainittuja kysymyksiä ei ole laadittu erityisesti tätä tutkimusta varten, mistä johtuen niitä ei voida pitää täysin relevantteina eikä niiden perusteella voida tehdä tieteelliset vaatimukset täyttäviä johtopäätöksiä. Kyselyä voidaan kuitenkin pitää yhtenä merkittävänä osana koko tutkimusta. Kyselyn työ- ja kosteusmittauskokemukseen sekä rakennusfysiikan osaamiseen liittyvät kirjalliset vastaukset laitettiin tutkijan toimesta eri numeroilla ilmaistaviin ryhmiin (liite 1).

Maaliskuun 2002 – lokakuun 2006 välisenä aikana koulutusohjelman lähiopetuspäiviin oli osallistunut 452 henkilöä. Näistä 352 ilmoitti kyselylomakkeessa silloisen koulutusasteensa. Vastausten perusteella koulutukseen osallistuvien henkilöiden pohjakoulutus jakaantui seuraavasti (kuva 44): 10 %:lla on ylempi korkeakoulututkinto (yleensä DI), 37 %:lla on alempi korkeakoulututkinto (rakennusinsinööri, AMK-insinööri), 35 %:lla on rakennusmestarin koulutus (tekniikko) ja 8 %:lla on rakennusalan ammattikoulututkinto. 11 %:lla koulutukseen osallistuneista oli käytynä vain perus- tai kansakoulu.

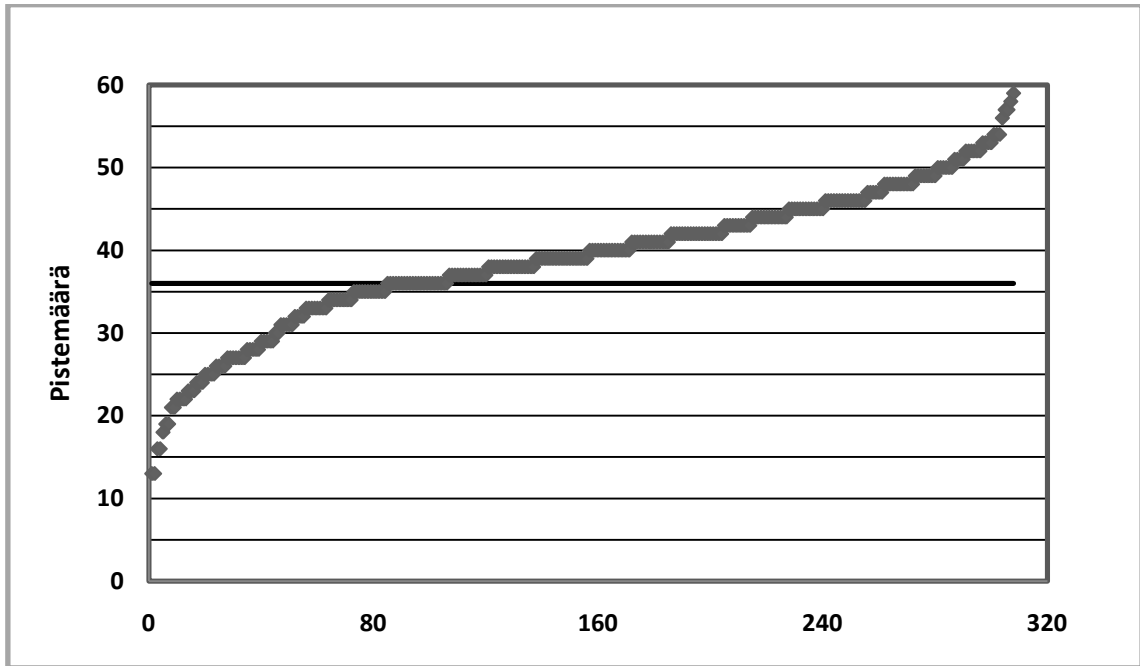
Syyskuuhun 2006 mennessä tutkintokokeeseen oli osallistunut yhteensä 392 henkilöä, joista 309 (79 %) läpäisi kokeen ensimmäisellä yrityksellä eli sai vähintään 36 pistettä (kuva 45). Näistä vain noin 13 % sai tentistä vähintään 50 pistettä enimmäispistemäärän ollessa 60.

Selvityksen perusteella kosteusmittaajien pohjakoulutus korreloi tenttimenestyksen kanssa. Tentissä hyvin (vähintään 50 pistettä) menestyneistä noin 89 %:lla oli joko ylempi tai alempi korkeakoulututkinto. Kuitenkin alemman korkeakoulututkinnon omaavista vain noin 10 % menestyi tentissä hyvin, mutta jopa 17 % ei läpäissyt tenttiä ollenkaan (kuva 46).

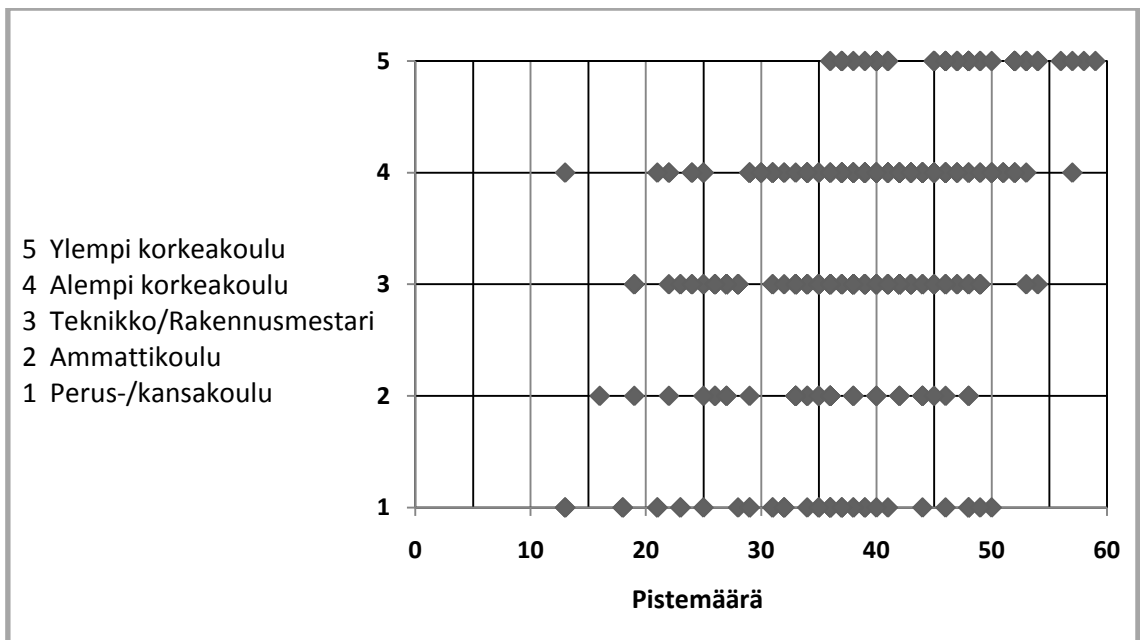
Aiempi kosteusmittauskokemus ei takaa osaamista. Paljon kosteusmittauksia ennen koulutukseen tuloa tehneistä vain noin 10 % menestyi tentissä hyvin (vähintään 50 pistettä) ja jopa 19 % ei läpäissyt tenttiä ensimmäisellä yrittämällä (kuva 47). Rakennusalan työkokemuksella ei myöskään ollut vaikutusta tenttimenestykseen (kuva 48). Omasta mielestä rakennusfysiikan hyvin hallitsevista vain 18 % menestyi tentissä hyvin ja jopa 15 % ei läpäissyt tenttiä lainkaan (kuva 49).



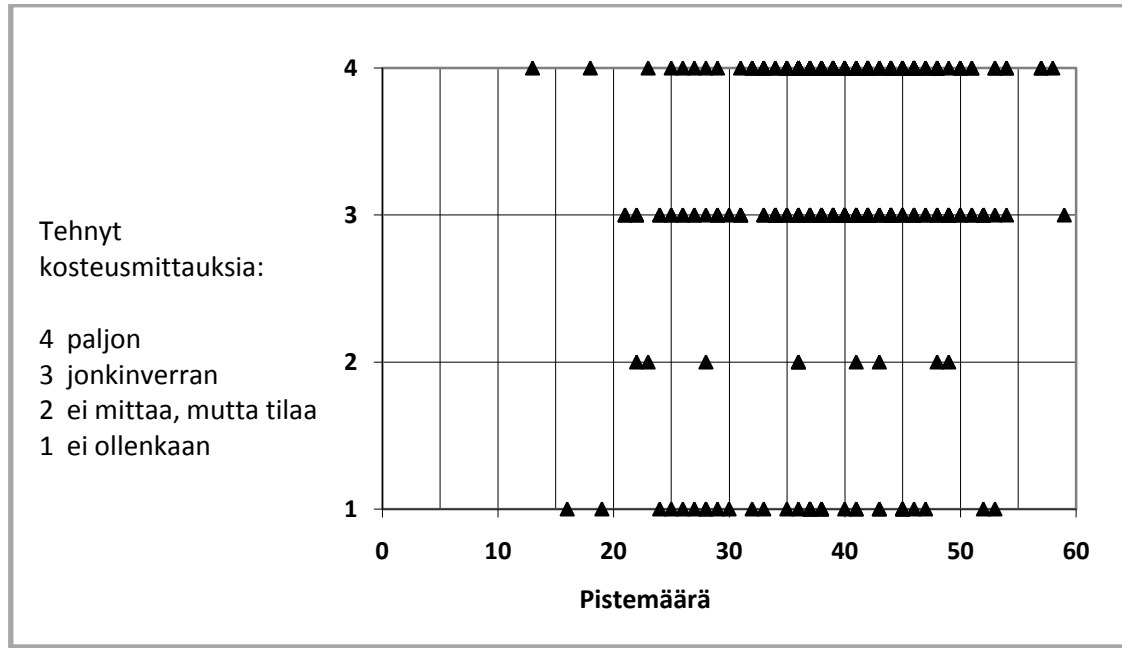
Kuva 44. Rakenteiden kosteudenmittaaja koulutusohjelmaan maaliskuun 2002 - lokakuun 2006 välisenä aikana osallistuneiden henkilöiden (n=352) pohjakoulutus.



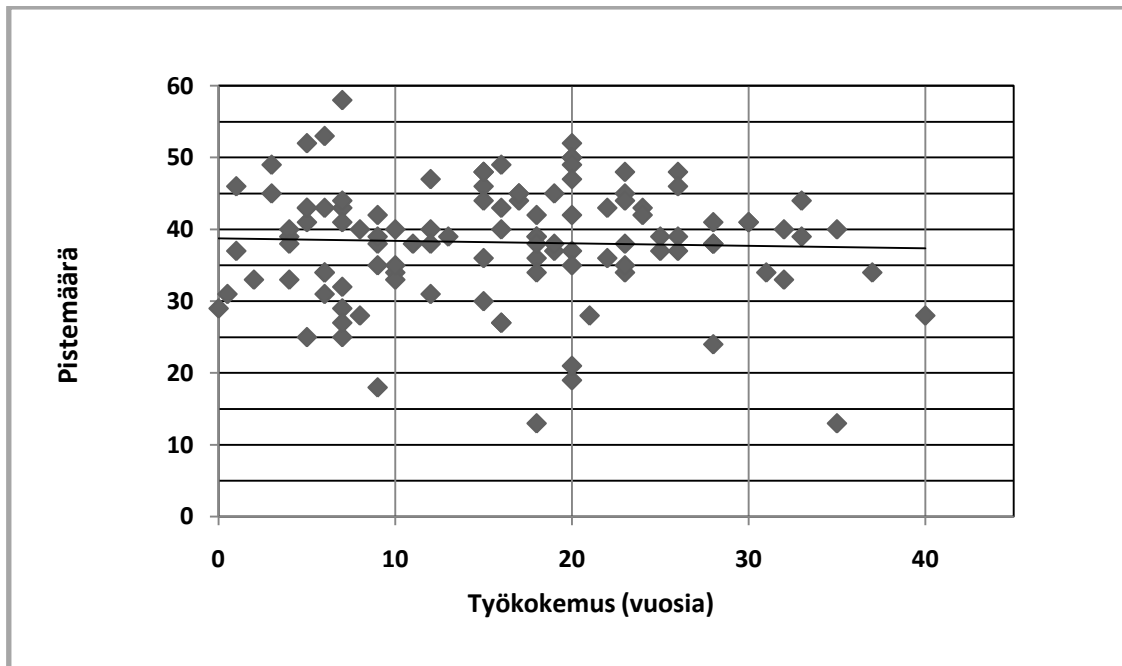
Kuva 45. Rakenteiden kosteudenmittaaja koulutuksessa syyskuuhun 2006 mennessä olleiden tutkintokokeesta saamat pisteet ($n=392$). Kokeen läpäisyraja oli 36 pistettä ja enimmäispistemäärä 60.



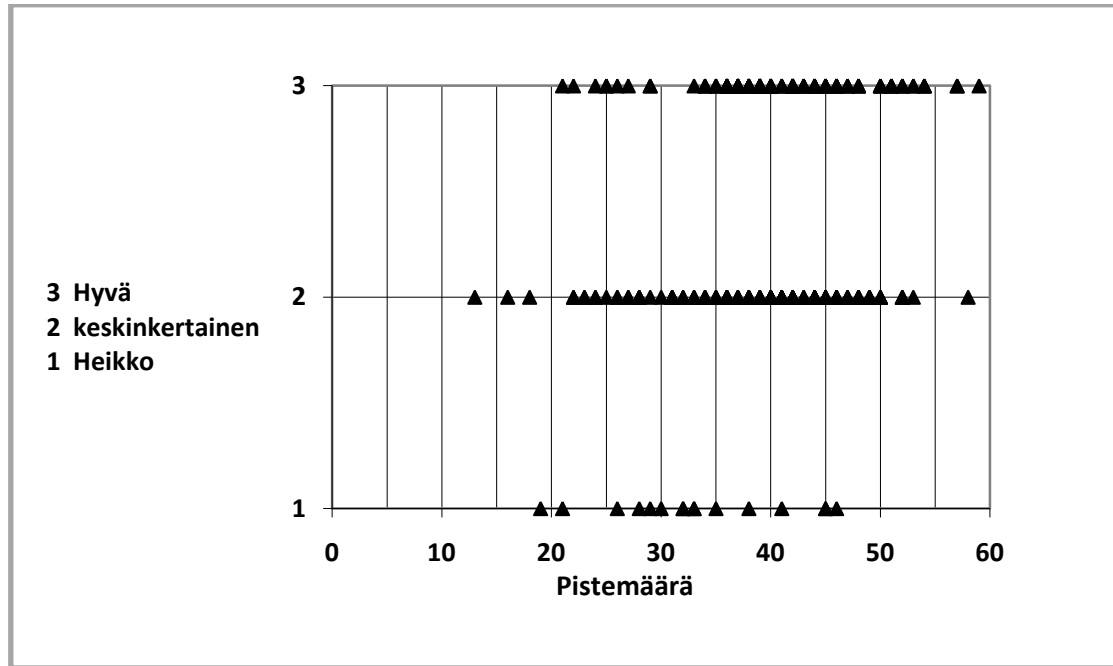
Kuva 46. Rakenteiden kosteudenmittaaja koulutusohjelmaan syyskuuhun 2006 mennessä osallistuneiden tutkintokokeesta saamat pisteet suhteessa pohjakoulutukseen ($n=300$). Kokeen läpäisyraja oli 36 pistettä ja enimmäispistemäärä 60.



Kuva 47. Rakenteiden kosteudenmittaaja koulutusohjelmaan syyskuuhun 2006 mennessä osallistuneiden tutkintokokeesta saamat pisteet suhteessa aikaisempaan kosteusmittauskokemukseen ($n=296$). Kokeen läpäisyraja oli 36 pistettä ja enimmäispistemäärä 60.



Kuva 48. Rakenteiden kosteudenmittaaja koulutusohjelmaan syyskuuhun 2006 mennessä osallistuneiden tutkintokokeesta saamat pisteet suhteessa aikaisempaan rakennusalan työkokemukseen ($n=123$). Kokeen läpäisyraja oli 36 pistettä ja enimmäispistemäärä 60.



Kuva 49. Rakenteiden kosteudenmittaaja koulutukseen syyskuuhun 2006 mennessä osallistuneiden ($n=102$) oma arvio rakennusfysiikan osaamisesta ennen koulutukseen osallistumista suhteessa koulutusohjelman lopussa suoritetusta tutkintokokeesta saatuun pistemäärään. Kokeen läpäisyraja oli 36 pistettä ja enimmäispistemäärä 60.

Syksyllä 2007 Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO:n järjestämässä *Betoni-rakenteiden päällystämisen uudet ohjeet* koulutuksessa jaettiin koulutukseen osallistuville kyselylomake, jossa kysyttiin muun muassa muutama kosteusmittaukseen liittyvä kysymys:

- Mitä tarkoittaa suhteellinen kosteus (RH %)?
- Mitä tarkoittaa mittalaitteen kalibrointi?
- Kuinka usein kalibroit mittalaitteesi?
- Betonin suhteellinen kosteus on mittauksella 80 % ja lämpötila +10 °C. Mitä tapahtuu betonin suhteelliselle kosteudelle, jos lämpötila mittauksen aikana nousee + 20 °C:een?

Kyselyyn vastasi yhteensä 34 henkilöä. Kosteusmittauskokemus vaihteli 1,5 vuodesta 25 vuoteen. Tätä tutkimusta vasten tarkastelun alle otettiin niiden henkilöiden vastaukset, jotka tekevät työssään nimenomaan betonilattioiden kosteusmittauksia (25 kpl). Heistä kysymykseen ”Mitä tarkoittaa suhteellinen kosteus (RH %)?” vastasi oikein 60 %. Kysymykseen ”Mitä tarkoittaa mittalaitteen kalibrointi?” vastasi oikein 72 %. Kysymykseen ”Betonin suhteellinen kosteus on mittauksella 80 % ja lämpötila +10 °C. Mitä tapahtuu betonin suhteelliselle kosteudelle, jos lämpötila mittauksen aikana nousee + 20 °C:een?” vastasi oikein niin ikään 72 %.

Kyselyn johtopäätöksenä voidaan todeta, että useilla (30 - 40 %:lla) betonilattioiden kosteusmittauksia tekevillä henkilöillä on oleellisia puutteita suhteellisen kosteuden mittaamiseen liittyvien peruskäsitteiden hallinnassa. Täten herää myös epäily siitä, kykenevätkö nämä henkilöt tekemään kosteusmittauksen vaaditulla tarkkuudella sekä arvioimaan mittauksen luotettavuutta. Jos betonilattian suhteellista kosteutta mittaava henkilö ei edes tiedä, mitä suhteellinen kosteus tarkoittaa, on hyvin epätodennäköistä, että hän tiedostaa lukuisat mittaukseen liittyvät epävarmuustekijät sekä pystyy arvioimaan näiden perusteella kokonaismittaustarkkuuden.

6.9 JOHTOPÄÄTÖKSET BETONILATTIAN KOSTEUSMITTAUKSEN LUOTETTAVUUDESTA

Betonilattian suhteellisen kosteuden mittaamiseen liittyy lukuisia tekijöitä, jotka vaikuttavat mittauksen luotettavuuteen. Mittausepävarmuutta aiheuttavat muun muassa mittalaite, mittalaitteen kalibrointi, mittalaitteen käsittely mittauksen aikana ja mittausten välillä, mittauspisteen sijainti sekä mittaustulosten analysointi. Mittausepävarmuus tulisi aina ilmoittaa mittaustuloksen yhteydessä. Jos mittausepävarmuustarkastelua ei ole tehty ja mittaustuloksen tulkitsijalla ei ole riittävää tietoa mittaukseen liittyvistä tekijöistä, hän saattaa helposti tehdä johtopäätöksiä pelkän mittalaitteen ilmoittavan lukuarvon perusteella.

Tämän tutkimuksen yhteydessä tarkastetuista betonilattioiden kosteusmittauksia sisältävistä kosteusmittausraporteista vain 6 %:ssa oli jonkin maininta mittauksen tarkkuudesta. Minkäänlaisia selityksiä saati laskelmia siitä, mistä tämä mittaustarkkuus koostui, ei kuitenkaan ollut yhdessäkään raportissa. Useissa raporteissa mittaustarkkuustarkastelu on hoidettu kirjaamalla raporttiin tutkimuksessa käytetyn mittalaitteen valmistajan ilmoittama mittaustarkkuus. Näyttäisi myös siltä, että kyseinen mittaustarkkuustarkastelu on vain kopioitu valmiista raporttipohjasta, sillä joissakin raporteissa oli ilmoitettu myös sellaisten laitteiden mittaustarkkuus, joita mittauksissa ei kuitenkaan käytetty.

Mittalaitteen valmistajan ilmoittama mittalaitteen mittaustarkkuus voidaan saavuttaa vain riittävän usein toistuvalla ja oikein tehdyllä kalibroinnilla. On kuitenkin epäselvää, mitä tämä riittävän usein on. Jotkut mittalaitteen valmistajat ilmoittavat käyttöohjeissaan suosituksia kalibrointitiheyden suhteen. Useimmiten suosituksena on kalibrointi vuoden tai puolen vuoden välein. Aggressiivisena materiaalina betoni voi kuitenkin muuttaa mittapään kosteusanturin ominaisuuksia oletettua enemmän. *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* RT 14-10675 ohjekortin mukaan mittapää tulee tarkistaa ja tarvittaessa kalibroida jokaisen mittauksen yhteydessä. Käytännössä näin ei yleensä tapahdu, vaan mittapää kalibroidaan useimmissa tapauksissa mittalaitteen valmistajan ohjeita noudattaen 6–12 kuukauden välein ja joskus jopa harvemmin. Liian harvoin tehdyn kalibroinnin seurauksena mittapään tarkkuuden aiheuttama yksittäinen mittausepävarmuus voi olla useita prosenttiyksiköjä.

Mittalaitteen tarkkuudella on merkittävä vaikutus mittaustuloksen luotettavuuteen ja sitä kautta myös mittaustuloksen tulkintaan. Alun perin liian korkeita tai liian alhaisia luke-

mia näyttävä mittalaite voi esimerkiksi johtaa rakenteen liian pitkään tai vastaavasti puutteelliseen kuivattamiseen. Käytetyn mittalaitteen tarkkuus on kuitenkin vain pieni osa kokonaismittaustarkkuutta. Mittalaitteen muista ominaisuuksista esimerkiksi mittapään kosteuskapasiteetilla on merkittävä vaikutus suoritettujen mittauksen tulokseen. Samalla tavoin mitattaessa kaksi erilaista suhteellisen kosteuden mittapäätä voivat antaa toisistaan hyvinkin poikkeavat tulokset johtuen esimerkiksi mittapäiden nopeuserosta saavuttaa kosteustasapaino mitattavan materiaalin kanssa. Useimmissa käyttöohjeissa ei ole mitään mainintaa mittalaitteen vaadittavista tasaantumisaajoista mittausreiässä ennen mittaustuloksen lukemista. Jos tasaantumisaika on joissain ohjeessa ilmoitettu, se ei yleensä kuitenkaan ole riittävän pitkä mitattaessa betonin suhteellista kosteutta porareistä. Liian lyhyt tasaantumisaika johtaa yleensä todellista alhaisempaan suhteellisen kosteuden arvoon.

Kaikki suhteellisen kosteuden mittapäät eivät myöskään sovellu betonin kosteuden mittaamiseen porareistä, johtuen niiden rakenteen epätiiviydestä. Porareikämittauksessa osa betonin kosteudesta voi haihtua mittapään epätiiviydskohdista, jolloin tulokseksi saadaan todellista alhaisempia kosteuslukemia. Mittalaitteiden käyttöohjeissa ei yleensä ole mainintaa laitteen soveltuvuudesta betonin suhteellisen kosteuden mittaukseen tai vaadittavista tasaantumisaajoista. Edellä mainituilla tekijöillä on kuitenkin merkittävä vaikutus mittaustulokseen ja sitä kautta tuloksen tulkintaan. Luotettava mittaus edellyttääkin mittaajalta käyttämänsä mittalaitteen hyvää tuntemista ja omatoimista testaamista liittyen muun muassa vaadittaviin tasaantumisaikoihin. Koska betonin ominaisuudet ja erityisesti betonin kosteus vaikuttavat tasaantumisnopeuteen, testisarjan tulisi olla riittävän laaja. Käytännössä mittapään ja betonin kosteuden välisen tasapainotilan saavuttamiseksi vaadittavan ajan aiheuttaman yksittäisen mittausepävarmuuden suuruuden määrittäminen on varsin haastava tehtävä.

Mittalaitteen ominaisuuksien lisäksi monet itse mittaukseen liittyvät tekijät vaikuttavat mittaustulokseen ja aiheuttavat mittausepävarmuutta. Erimerkiksi mitattaessa betonilattian suhteellista kosteutta betoniin poratusta reiästä, mittaustulokseen vaikuttavat mittauskohdan sijainti tarkasteltavassa lattiarakenteessa, mittausreiän syvyys, mittausreiän lämpötilan ja kosteuden tasaantuminen poraamisen jälkeen sekä reiän puhdistaminen ja tiivistäminen. Lisäksi mittaustulokseen vaikuttavat merkittävästi mittalaitteen lämpötila, mitattavan betonin lämpötila sekä mittalaitteen ja mittavan materiaalin välinen lämpötilaero.

Jotkut mittalaittevalmistajat antavat ohjeita betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseksi. Eri valmistajien ohjeissa on huomattavia eroja liittyen esimerkiksi siihen, kuinka kauan porareian pitää antaa tasaantua ennen mittauksia. Suositeltavat tasaantumisaajat vaihtelevat muutamasta tunnista jopa seitsemään vuorokauteen. Jos kosteusmittaus tehdään liian aikaisin porauksen jälkeen, tulokseksi voidaan saada useita prosenttiyksiköitä liian korkeita arvoja. Porauksen vaikutus on yleensä sitä suurempi, mitä kuivempi betoni on. Näin ollen melko kuivastakin betonista voidaan saada mittaustulokseksi ohjearvot ylittäviä arvoja, jos mittaus tehdään liian pian porauksen jälkeen. Porauksen aiheuttamaa virhettä on vaikea arvioida, sillä siihen vaikuttaa useita eri tekijöitä kuten betonilaatu, betonin kosteus, poran terävyys, porauksen kesto ja reiän puhdistus.

Lämpötilalla on merkittävä vaikutus betonin suhteellisen kosteuden mittauksessa. Betonin lämpötilan muuttuessa betonin huokosen ilmatilan suhteellinen kosteus muuttuu yleensä niin, että lämpötilan noustessa myös suhteellinen kosteus nousee ja lämpötilan laskiessa suhteellinen kosteus laskee. Betonin lämpötilan lisäksi mittaustulokseen vaikuttavat betonin ja mittapään välinen lämpötilaero sekä mittapään kalibroinninaikainen lämpötila. Yhdessäkään betonin suhteellisen kosteuden mittaushojeessa ei neuvota, miten lämpötilan aiheuttama mittausrvirhe tulisi arvioida. Toisaalta monet aiheeseen liittyvät tutkimukset ovat osoittaneet, että betonilaatukohtaisten lämpötilakorjauskertoimien laadinta on betonilaatujen suuresta määrästä johtuen käytännössä mahdoton tehtävä. Lämpötilaerojen ja – muutosten vaikutusta mittaustarkkuuteen on vaikea arvioida, sillä vaikutus voi olla sekä suunnaltaan että suuruudeltaan hyvinkin erilainen riippuen muun muassa betonilaadusta, kosteudesta ja lämpötilasta.

Mittauslaitteeseen ja mittaustyöhön liittyvien epävarmuustekijöiden lisäksi betonilattian kosteutta mitattaessa on syytä ottaa huomioon eri kohdissa rakennetta vallitsevat kosteuspiitoisuuserot. Samassa rakenteessa mittaustulosten hajontaa voivat aiheuttaa muun muassa muutokset rakenteen poikkileikkauksessa (esimerkiksi pintavalun paksuuserot, ontelolaatan saumat ja täyttövalut) sekä rakenteen epätasainen kastuminen ja kuivuminen johtuen rakennetta ympäröivien olosuhteiden eroavaisuuksista. Hajonta eri mittauspisteiden tulosten välillä voi olla useita prosenttiyksiköjä. Koska kosteusmittaus on ainetta rikkova ja aikaa vievä, mittauspisteiden määrä on rajallinen. Käytännössä mittauspisteitä on yleensä yksi kutakin tarkasteltavaa tilaa kohden. Kosteusmittaukseen liittyvissä ohjeissa mittauskohdaksi neuvotaan valitsemaan oletettavasti kostein kohta. Käytännössä tämän kohdan määrittäminen voi kuitenkin olla vaikeaa. Mittauskohdan valinnan vaikutus mittaustuloksen luotettavuuteen on merkittävä. Eri mittauskohdista saatujen tulosten hajontaa ja siten mittaukseen liittyvää epävarmuutta on käytännössä vaikeaa määrittää johtuen muun muassa erilaisten rakenteiden ja betonien suuresta määrästä.

Betonilattian kosteuden mittaamiseen liittyy lukuisia epävarmuustekijöitä, jotka kosteusmittaajan tulisi tiedostaa ja joiden aiheuttama mittausrvirhe mittaajan tulisi pystyä arvioimaan. Olemassa olevat ohjeet liittyen näiden tekijöiden huomioon ottamiseen ja mittausepävarmuuden määrittämiseen ovat kuitenkin puutteelliset. Suurimpana ongelmana on se, että betonin ominaisuuksista johtuen mittaukseen vaikuttavien eri tekijöiden aiheuttamaa yksittäistä mittausepävarmuutta on useimmissa tapauksissa lähes mahdotonta arvioida riittävällä tarkkuudella. Lisäksi monien epävarmuustekijöiden aiheuttama mittausepävarmuus on niin suuri, että se mittauksesta käytännön kannalta merkityksettömän. Kaiken kaikkiaan itse mittaus ja mittausepävarmuuden määrittäminen on varsin haastava tehtävä, mikä edellyttää kosteusmittaajalta vankkaa osaamista. Kosteusmittausten luotettavuuden parantamiseksi mittaajille järjestetään koulutusta ja heiltä vaaditaan erilaisia osaamisvaatimuksia täytettäviä pätevyyskriteerejä. Erilaiset pätevyyskriteerit tai sertifikaatit eivät kuitenkaan vielä takaa, että mittaaja tunnistaa ja pystyy määrittämään lukuisat mittaukseen ja tulosten tulkintaan liittyvät epävarmuustekijät.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET PROSESSISTA SEKÄ EHDOTUKSET PROSESSIN KEHITTÄMISEKSI

7.1 JOHTOPÄÄTÖKSET RIITTÄVÄN KUIVUMISEN MÄÄRITYSPROSESSISTA

Suomen rakentamismääräyskokoelma edellyttää, että kosteiden rakenteiden ja rakennekosteuden on annettava kuiva tai rakenteita on kuivatettava riittävästi, ennen kuin ne peitetään kuivumista hidastavalla ainekerroksella tai pinnoitteella. Betonilattioiden osalta tämä merkitsee sitä, että urakoisijan tulee varmistaa betonilattian riittävä kuivuminen ennen lattianpäällystystyöhän ryhtymistä.

Siitä, mitä riittävällä kuivumisella käytännössä tarkoitetaan, ei ole olemassa selkeitä määritelmiä tai rakentamista ohjaavia ohjeita. Ensisijaisena edellytyksenä tietenkin on, että betonilattia on niin kuiva, ettei kosteusvaurioita pääse syntymään. Koska betonirakenteen kuivattaminen vaatii kuitenkin paljon aikaa ja tuottaa siten kustannuksia, on oleellista tietää, mitä tämä ”riittävä” tapauskohtaisesti tarkoittaa. Turha kuivattaminen ei ole taloudellisesti järkevää.

Joidenkin lattianpäällystemateriaalien asennusohjeissa sekä alan yleisissä ohjeissa ja julkaisuissa kuten esimerkiksi *SisäRYL 2000:ssa*, *by45/BLY7:ssa* *by47:ssa* on esitetty päällystemateriaalikohtaisia alustabetonin suurimpia sallittuja päällystämishetken kosteusarvoja. Näin ollen voidaan olettaa, että betonilattia on riittävän kuiva, kun sen kosteus on alle tuon suurimman sallitun kosteusarvon. Rakennusurakan urakka-asiakirjoihin kuuluvan työselostuksen betonilattioiden päällystämiseen liittyvissä osuuksissa viitataan usein edellä mainittuihin julkaisuihin tai materiaalivalmistajan ohjeisiin. Työselostuksessa voidaan myös suoraan ilmoittaa vaadittava kosteuspitoisuus. Mikäli materiaalivalmistajan ilmoittamat kosteusraja-arvot ovat työselostuksessa ilmoitettua raja-arvoja tiukempia, tulee asennustyössä noudattaa nimenomaan materiaalivalmistajan ohjeita tuotteen takuun voimassaolon varmistamiseksi.

Kosteusraja-arvolla on merkittävä vaikutus betonilattiarakenteelta vaadittavaan kuivumisaikaan ja sitä kautta rakennusaikaisiin kustannuksiin. Liian alhainen raja-arvo voi johtaa päällystämistyön aloituksen viivästymiseen ja sitä kautta merkittäviin lisäkustannuksiin uudisrakennuskohteessa. Toisaalta liian korkea raja-arvo voi johtaa myöhemmin syntyvään kosteusvaurioon sekä siitä aiheutuviin sekä toiminnallisiin, taloudellisiin että mahdollisesti myös terveydellisiin haittoihin. Vauriotutkimuksissa kosteusraja-arvot puolestaan vaikuttavat vaurion syyn määrittämiseen sekä rakenteen kuivatustarpeen arviointiin. Kosteusraja-arvo voi myös vaikuttaa siihen, kuka määrätään maksamaan vaurioista syntyneet korjauskustannukset. Pelkästään raja-arvon ylittäminen voi johtaa turhan kalliisiin korjaustoimenpiteisiin ilman, että mitään näyttöä varsinaisesta kosteusvauriosta olisi. Jo pelkkä epäily siitä, että kosteus voi aiheuttaa terveyshaittaa voi johtaa korjaustoimenpiteisiin.

Betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämisprosessiin, jossa lähtökohtana on varmistaa, että betonilattiarakenne on riittävän kuiva ennen lattianpäällystystyöhön ryhtymistä, liittyy lukuisia erilaisia epävarmuustekijöitä. Tässä tutkimuksessa esiin tulleita seikkoja ovat seuraavat:

- Eri ohjeissa ja julkaisuissa olevissa saman päällystemateriaalin kosteusraja-arvoissa voi olla huomattavia eroja. Myös eri materiaalivalmistajien samalle tuotteelle ilmoittamat kosteusraja-arvot voivat poiketa toisistaan huomattavasti. Esimerkiksi kelluvalla lautaparketilla päällystettäessä alustabetonin suhteellisenä kosteutena ilmoitettu kosteusraja-arvo voi vaihdella välillä 60 - 95 %. Jotkut materiaalivalmistajat ilmoittavat samalle tuotteelle erilaisia ohjearvoja eri maissa julkaistavissa asennusohjeissa. Betonilattian vaadittava kuivumisaika voi vaihdella useita viikkoja riippuen siitä, minkä ohjeen kosteusraja-arvoja noudatetaan.
- Nykyisille kosteusraja-arvoille ei löydy tieteellisiä perusteita. Ne eivät ota riittävästi huomioon nykyistä kosteusmittausmenetelmää, rakenneratkaisua, betonin ominaisuuksia eivät päällystemateriaalin ominaisuuksia.
- Kosteusraja-arvot on vuosien aikana kopioitu julkaisusta toiseen. Nykyisin voimassa olevassa *SisäRYL 2000* julkaisussa on lähes samat kosteusraja-arvot kuin vuonna 1980 julkaistussa ohjeessa. Perimmäisenä lähteenä on Nilsson julkaisu vuodelta 1977, jossa hän esittää ehdotuksia joidenkin materiaalien kriittisiksi suhteellisen kosteuden arvoiksi.
- Betonilattian riittävän kuivumisen määrittämiseksi on olemassa useita erilaisia menetelmiä. Saman lattianpäällysteen asennusohjeessa ilmoitettuja erilaisia menetelmiä käyttäen betonilattian vaadittava kuivumisaika voi vaihdella muutamasta viikosta kymmeniin viikkoihin (esimerkiksi 3- 40 viikkoa).
- Betonilattian suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä on yleisin ja monin paikoin ainoa hyväksyttävä menetelmä betonin riittävän kuivumisen määrittämiseksi. Menetelmää ei voida kuitenkaan pitää luotettavana, sillä ensinnäkään se ei ole pätevä (validi). Ohjeen mukaisilta mittaussyvyyksiltä saatu raja-arvoa alhaisempi kosteuslukema ei anna varmuutta siitä, ettei lattiapäällyste vaurioitu betonin sisältämän kosteuden takia. Lisäksi menetelmään liittyy lukuisia erilaisia epävarmuustekijöitä, joiden suuruutta ja suuntaa on käytännössä mahdotonta määrittää. Myös mittausten dokumentointikäytännöissä on merkittäviä puutteita, mikä puolestaan heikentää mittausten jäljitettävyydessä. Kosteusmittaajien koulutus ja erilaiset pätevyyydet eivät juurikaan lisää mittausten luotettavuutta.

Yhteenvetona edellä mainituista seikoista voidaan todeta, että betonilattian riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyy hallitsematonta hajontaa, jonka vaikutus rakenteen vaadittavaan kuivumisaikaan on merkittävä. Esimerkiksi kelluvalla lautaparketilla päällystettävän 100 mm paksun maanvaraisen betonilattian vaadittava kuivumisaika voi vaihdella 3 viikosta 40 viikkoon riippuen kosteusraja-arvosta ja 3 viikosta yli 30 viikkoon riippuen käytettävästä mittaumenetelmästä. Vaadittava kuivumisaika voi myös vaihdella useita viikkoja riippuen käytettävän mittalaitteen ominaisuuksista, mittauskohdasta, mittaustyöstä sekä mittauksen aikana vallitsevista olosuhteista.

7.2 TOIMENPIDE-EHDOTUS PROSESSIN KEHITTÄMISEKSI

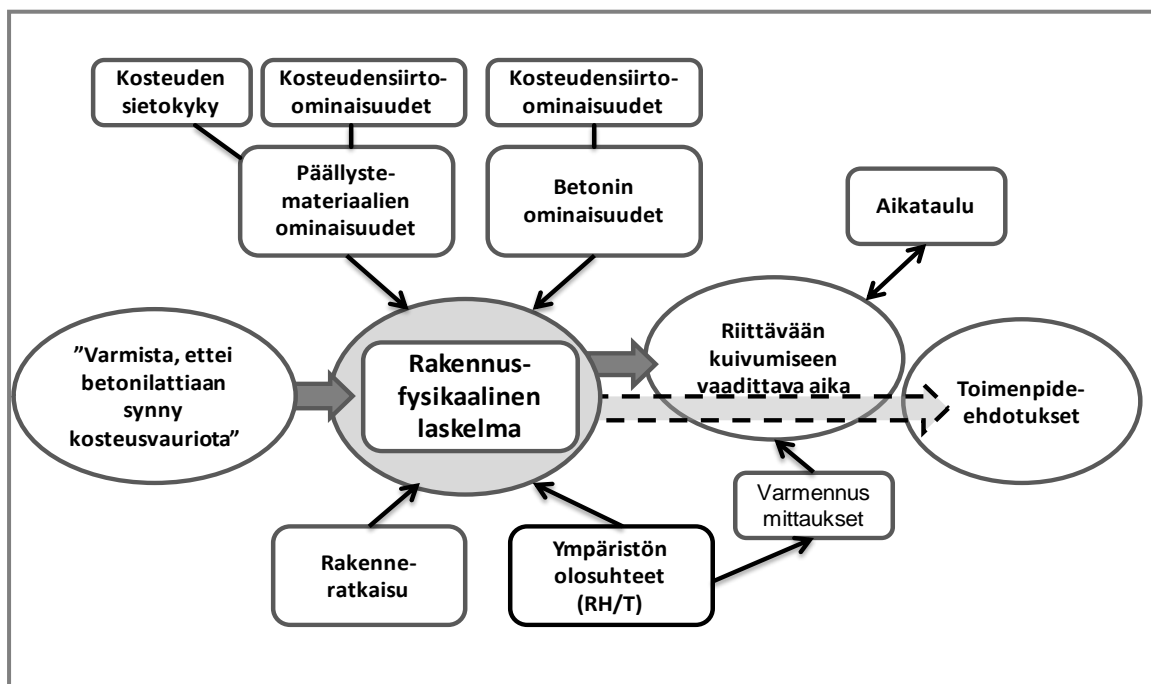
Suomessa (SisäRYL2000) ja muissa Pohjoismaissa (Hus AMA 98) sekä esimerkiksi Yhdysvalloissa (Kanare 2005) ollaan entistä enemmän menossa suuntaan, jossa betonilattian riittävän kuivumisen määrittämiseksi edellytetään betonin suhteellisen kosteuden mittaamista tietyltä syvyydeltä rakenteesta. Jotta lattianpäälystystyöhön voidaan ryhtyä, mittaustuloksena saadun suhteellisen kosteuden arvon tulee alittaa päälystemateriaali-kohtainen kriittinen arvo. Mittaussyvyys perustuu oletukseen, että kosteus päälysteen alla nousee myöhemmin enimmillään samaan arvoon kuin mitä mittaussyvyydellä valitsee päälystyshetkellä. Näin ei kuitenkaan läheskään aina tapahdu, vaan siihen miten kosteus betonilattiarakenteessa päälystämisen jälkeen jakaantuu uudelleen vaikuttaa monta eri tekijää kuten päälystemateriaalin vesihöyrynläpäisevyys, betonin kosteudensiirto-ominaisuudet, rakenneratkaisu sekä olosuhteet rakenteen ylä- ja alapuolella. Näitä tekijöitä ei nykyisissä kosteusraja-arvoissa ole otettu riittävästi huomioon. Lisäksi kosteusmittausmenetelmiin liittyy lukuisia määriä erilaisia epävarmuustekijöitä, joiden vaikutuksen suuruutta on käytännössä lähes mahdotonta määrittää. Kaiken kaikkiaan nykyinen menetelmän tilalle tulisi kehittää täysin uusi menetelmä, joka ottaa edellä mainitut kosteuden käyttäytymiseen vaikuttavat tekijät huomioon.

Ehdotuksena on, että kunkin betonilattiarakenteen vaadittava kuivumisaika määritetään rakennusfysikaalisilla laskelmilla jo rakennesuunnitteluvaiheessa. Laskelmien lähtötietoina ovat päälystemateriaalin ja betonin kosteudensiirto-ominaisuudet (vesihöyrynläpäisevyys), rakenneratkaisu, olosuhteet rakenteen ylä- ja alapuolella sekä päälystemateriaalin kosteudensietokyky (todellinen kriittinen suhteellinen kosteus). Ajasta riippuvassa tarkastelussa otetaan huomioon ympäröivien olosuhteiden sekä rakenteen lämpö- ja kosteustilan muutokset. Laskelmien tuloksena syntyy rakenteen kuivattamiseen tietyissä ympäristöolosuhteissa vaadittava kuivumisaika. Mikäli kuivumisaika venyy rakentamisaikataulun tavoitetta pidemmäksi, laskentaohjelma voi antaa erilaisia toimenpideehdotuksia liittyen kuivumisolosuhteisiin ja betonin ominaisuuksiin (kuva 50). Ohjelma voi myös varoittaa rakenteen mahdollisista kosteusteknisistä riskeistä, kuten esimerkiksi liian tiivistä päälystemateriaalista. Varsinaisia rakennekosteusmittauksia ei tarvita. Rakenteen ympärillä tehtävät lämpötila- ja kosteusmittaukset ovat kuitenkin välttämättömiä laskelmissa käytettävien reunaehtojen varmentamiseksi. Rakennekosteusmittauksilla voidaan tarvittaessa tarkistaa, että rakenteen kosteustila (esim. kosteusprofiili) on laskelmien mukainen. Tällöin on kuitenkin syytä ottaa huomioon lukuisat mittauksen luotettavuuteen vaikuttavat tekijät.

Laskelmia varten tulee kehittää laskentaohjelma. Pohjana voidaan pitää jo olemassa olevia rakennusfysikaalisia laskentaohjelmia (esim. WUFI-ohjelma). Tämän betonin riittävän kuivumisen varmentamistoimenpiteitä ohjaavan laskentaohjelman luominen vaatii kuitenkin vielä paljon tutkimus- ja tuotekehitystyötä. Esimerkiksi lähtötietoina käytettävien päälystemateriaalien ja betonilaatujen kosteusteknisistä materiaaliominaisuuksista on vielä liian vähän tietoa. Erityisesti kosteuspitoisuudesta voimakkaasti riippuvaisten materiaaliominaisuuksien kuten vesihöyrynläpäisevyyden ja betonin kosteudensiirto-ominaisuuksien määrittämien edellyttää lisätutkimusta. Betonilattian kosteudensiirto-ominaisuudet voivat vaihdella eri puolilla rakennetta johtuen muun muassa rakenteen epähomogeenisuudesta, epätasaisesta kastumisesta sekä ympäröivän tilan lämpötila- ja kosteuseroista. Haasteen menetelmän kehittämiseksi tuo myös erilaisten

betonilaatujen sekä päällysteiden ja pinnoitteiden suuri määrä ja siten niiden erilaisten ominaisuuksien määrittely. Muiden muassa Huttunen (2003, s. 69) esittää, että rakennusfysikaalisissa laskelmissa epävarmojen ja suuren hajonnan omaavien materiaaliominaisuuksien osalta on suositeltavaa tehdä herkkyysanalyysi laskentatulosten luotettavuuden arvioimiseksi.

Laskentamenetelmän etuna verrattuna nykyiseen riittävän kuivumisen määritysmenetelmään on muun muassa se, että toimenpide tehdään jo rakennesuunnitteluvaiheessa. Tällöin menetelmä on toimintaa ohjaava; varmistetaan etukäteen, että rakenne on kosteusteknisesti toimiva ja vaadittava kuivumisaika on rakentamisaikatauluun sopiva. Laskentamenetelmä ottaa huomioon materiaalien kosteudensiirto-ominaisuudet vähentäen riskirakenteiden määrää. Materiaalivalinnoilla voidaan lyhentää vaadittavaa kuivumisaikaa ja näin ollen vaikuttaa rakentamisaikatauluun ja kustannuksiin. Menetelmää voitaisiin käyttää myös hyväksi päällystemateriaalin kehitystyössä. Kaiken kaikkiaan betonilattioiden päällystämiseen liittyvien ongelmien ratkaisu edellyttäisi erityisesti lattianpäällysteiden kehittämisen sellaiseen suuntaan, että niiden vesihöyrynläpäisevyys ja kosteuskkestävyys paranisivat. Tällöin myös riittävän kuivumisen määritysprosessin kriittinen merkitys vähenisi.



Kuva 50. Betonilattian rakennusaikaisen riittävän kuivumisen arvioinnin tulisi perustua rakennusfysikaalisiin laskelmiin, jossa rakenteen lämpö- ja kosteustekniseen käyttäytymiseen vaikuttavat tekijät otetaan huomioon.

8 TUTKIMUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 TUTKIMUKSEN ARVIOINTIA KOKONAISUUTENA

Yleisimmillään tieteellisen tutkimuksen tarkoitus on kumuloida jäsentynyttä tietovarantoa todentavalla tavalla (Niiniluoto 2002; Uusitalo 2001). Perustana on aina jokin aikaisempi tietämys – doktriini. Jäsenytyneisyydellä tarkoitetaan pyrkimystä tiedon loogiseen ja järjestelmälliseen esittämiseen kiteytetyllä, ymmärrettävällä tavalla. (Salmi 2000). Tämän tutkimuksen perimmäinen tarkoitus oli betonilattian riittävän kuivumisen määrittämisprosessin ymmärtäminen sekä siihen liittyvien kausaliiteettien etsiminen. Päätavoitteena oli selvittää, mitkä eri osatekijät vaikuttavat betonilattian riittävän kuivumisen määrittämisprosessissa ja millaisiin johtopäätöksiin nämä eri tekijät voivat johtaa.

Tutkimusta aloittaessaan tutkijaa kiinnostavia kysymyksiä olivat; mihin betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyvät käytännöt ja ohjeet oikein perustuvat, mitkä tekijät vaikuttavat betonilattian kosteusmittauksen tulokseen ja tulosten tulkintaan sekä johtavatko kosteusmittaukset ylipäättään toiminnallisesti ja taloudellisesti järkeviin toimenpiteisiin.

Lähtökohtana oli tutkijan aikaisemman kokemuksen tuoma esiymmärrys sekä reaali maailmassa tekemät havainnot, joiden pohjalta tutkimukselle luotiin tutkimusta ohjaava työhypoteesi. Työhypoteesin mukaan betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyy hallitsematonta hajontaa, jonka vaikutus rakenteen vaadittavaan kuivumisaikaan on merkittävä.

Tutkimusmenetelmäksi valittiin empiirinen kuvaileva tutkimus, jossa tarkastelun kohteena oli betonilattiarakenteiden riittävän kuivumisen määrittäminen. Tärkeä analysointitapa oli triangulointi eli saman havainnon tarkastelu useasta eri tietolähteestä ja useasta eri teoreettisesta näkökulmasta.

Tutkimuksen kirjallisuusosiossa käytiin läpi betonilattian kosteudenhallintaan liittyviä seikkoja. Tarkoituksena oli lisätä ymmärrystä siitä, mitä betonin kosteus on, mistä se tulee ja mitä se voi aiheuttaa, eli miksi varmistuminen betonilattian riittävästä kuivumisesta ennen lattiapäällystystyöhön ryhtymistä on tärkeää. Teoriaosuus toi esiin muun muassa, että liiallinen kosteus voi aiheuttaa päällyste- ja pinnoitemateriaaleille erilaisia vaurioita, jotka toiminnallisen ja taloudellisen haitan lisäksi voivat olla terveydelle haitallisia. Teoriaosuuden kuvaus kosteuden sitoutumisesta ja liikkeistä myös osin selventää, miksi betonilattian kosteudenhallinta on varsin haastava tehtävä. Tutkimuksen viitekehys on rakennettu useista teoreettisista aineksista (teorioiden triangulaatio).

Tutkijan aikaisemman betonilattioiden kosteuden mittaamiseen liittyvän kokemuksen ja kirjallisuuden tuoman esiymmärryksen pohjalta hahmoteltiin tutkimuksen alustava viitekehys sekä suunniteltiin aineiston keruuta edellä mainitut kysymykset mielessä. Aineiston keruun yhteydessä tehdyt havainnot ja lisääntyvä ymmärrys tarkensivat tutkimuskysymyksiä tutkimusprosessin aikana. Lisääntyneen ymmärryksen pohjalta kuvat-

tiin tutkimuksen kohteena oleva prosessi, jossa lähtökohtana oli varmistaa betonilattian riittävä kuivuminen ennen lattianpäällystystyöhön ryhtymistä. Prosessi rajattiin käsittelemään Suomessa käytettäviä kosteusmittausmenetelmiä ja näistä erityisesti suhteellisen kosteuden mittaamista porareikämenetelmällä.

Tutkimuksessa osoitettiin erilaisiin lähdeaineistoihin perustuen ja useasta eri näkökulmasta, miten prosessin eri osatekijät voivat vaikuttaa kosteusmittaustulokseen, tuloksen tulkintaan ja sitä kautta betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan. Aineiston hankinta ja analysointivaihe liittyivät kiinteästi toisiinsa. Aineiston analysointi osoitti suunnan lisäaineiston hankinnalle ja tutkimuksen kuluessa aineiston hankinta ja analysointi vuorottelivat kohti lopullista tulemaa. Tutkimusta voidaan pitää enemmän aineistolähtöisenä kuin teoriavetoisena. Tässä tutkimuksessa käytettiin monenlaista aineistoa (aineiston triangulaatio):

- kirjallisuustutkimus (tieteelliset julkaisut)
- kosteusmittauslaitteiden valmistajien ja myyjien esitteitä sekä www-sivuja
- lattianpäällystemateriaalien asennusohjeita
- erilaisten järjestöjen ohjejulkaisuja
- Humittest Oy:n laboratoriossa tehtyjen kosteustutkimusten tuloksia
- Rakennusteollisuuden koulutuskeskus RATEKO:n rakenteiden kosteudenmittaaja koulutukseen osallistuvien henkilöiden täyttämiä kyselykaavakkeita sekä tenttituloksia
- Vakuutusyhtiö Tapiolan kosteusvauriovahinkoraportteja vuosilta 2006-2007
- Betonilattioiden päällystämisen uudet ohjeet koulutusohjelmaan osallistuneiden henkilöiden täyttämiä kyselykaavakkeita.

Prosessin ensimmäiseksi osatekijäksi valittiin olemassa olevat betonilattioiden kosteutta koskevat määräykset, ohjeet ja käytännöt sekä erityisesti niissä määritellyt alustabetonin suurimmat sallitut kosteusarvot, johon betonilattiarakenteen tulee kuivua ennen päällystämistä. Kosteusraja-arvoista löydettiin huomattavia eroavaisuuksia, jotka tarkasteltavan prosessin lopputuloksena saattavat johtaa hyvinkin erilaisiin betonilattiarakenteen vaadittaviin kuivumisaikoihin. Olemassa oleville nykyisille raja-arvoille ei kirjallisuustutkimukseen pohjautuen löydetty riittäviä tieteellisiä vaan usein jopa ristiriitaisia perusteita.

Prosessin seuraavana osatekijänä tarkasteltiin käytettävän kosteusmittausmenetelmän vaikutusta mittaustulokseen ja tuloksen tulkinnan kautta vaadittavaan kuivumisaikaan. Tarkasteltaviksi kohteiksi valittiin lattianpäällystemateriaalivalmistajien suomalaisissa asennusohjeissa mainittuja menetelmiä. Tutkimuksessa havaittiin, että saman betonilattiarakenteen vaadittava kuivumisaika voi vaihdella useita viikkoja riippuen käytetystä mittaustuloksesta.

Kolmantena suurena kokonaisuutena tarkasteltiin kosteusmittaukseen liittyviä epävarmuustekijöitä. Tarkastelu rajattiin koskemaan betonin suhteellisen kosteuden mittausta porareikämenetelmällä, koska menetelmä on Suomessa yleisimmin käytetty ja usein esimerkiksi rakennusselostuksen mukaan ainoa hyväksytty. Aikaisemmissa betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen liittyvissä tutkimuksissa (esim. Hedenblad 1995, Sjöberg 1998) luetellaan joukko erilaisia mittausepävarmuutta aiheuttavia tekijöitä, jotka

mittaustarkkuustarkastelua tehtäessä tulee ottaa huomioon. Tutkimuksessa selvitettiin, miten mittausepävarmuus on otettu huomioon mittalaitteiden käyttöohjeissa, yleisissä kosteusmittausohjeissa sekä todellisissa mittausraporteissa. Tutkimus osoitti, että ohjeissa ja käytännöissä on paljon puutteita sekä eroja, jotka voivat johtaa hyvinkin erilaisiin tuloksiin ja tulosten tulkintoihin.

Mittausraporttien puutteellisuus erityisesti mittaustarkkuustarkastelun ja menetelmäkuvausten osalta herätti epäilyksen siitä, onko kosteusmittaajilla ylipäättään kykyä tehdä vaadittavaa mittaustarkkuustarkastelua. Tästä syystä tutkimuksessa selvitettiin, miten kosteusmittauskoulutuksessa olleet henkilöt ovat menestyneet sertifioidulta kosteudenmittaajalta edellytettävää osaamista mittaavassa kurssitentissä. Selvitys osoitti, että henkilösertifikaatin omaavalla rakenteiden kosteudenmittaajalla voi olla vielä paljon puutteita osaamisessa eikä sertifikaatti siten takaa, että mittaja pystyisi tekemään luotettavan mittauksen ja tulkitsemaan sen oikein.

Tehtyjen selvitysten perusteella tutkimuksen päätavoite toteutui hyvin. Tutkimus osoitti asetetun työhypoteesiin ”*betonilattian riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyy hallitsematonta hajontaa, jonka vaikutus rakenteen vaadittavaan kuivumisaikaan on merkittävä*” paikkansapitäväksi.

Betonilattiarakenteen kosteuteen, kuivumiseen ja kosteusmittaukseen liittyvää tutkimusta on aiemmin tehty hyvinkin paljon. Kirjallisuuden perusteella betonilattiarakenteiden kosteudenhallintaan liittyvää riittävän kuivumisen määrittämisprosessia ei tässä laajuudessa ole kuitenkaan aiemmin tutkittu. Näin ollen tutkimus täyttää akateemisesta näkökulmasta vaaditun uutuusarvon.

Tutkimuksen uutuusarvona on betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyvien epävarmuustekijöiden tunnistaminen sekä osoittaminen, miten nämä tekijät vaikuttavat betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan. Aikaisemmissa tutkimuksissa on paneuduttu nyt tarkastellun prosessin joihinkin yksityiskohtiin ja niiden tulokset tukivat tämän tutkimuksen havaintoja. Tutkimuksessa on tunnistettu keskeiset osatekijät betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämisprosessin parantamiseksi. Kosteusmittaukseen liittyvien ohjeiden ja käytäntöjen ristiriitaisuudesta ja puutteista saatiin tutkimuksessa lisää tietoa. Tutkimus osoittaa, että nykyiset ohjeet ja menetelmät vaativat perinpohjaisen muutoksen, jotta rakentamisen laatuvaatimukset betonilattioiden kosteudenhallinnan osalta voidaan täyttää.

8.2 TUTKIMUKSEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

Edellytys tutkimuksen luotettavuudelle on se, että tutkimus on tehty tieteelliselle tutkimukselle asetettujen kriteerien mukaan. Luotettavuutta tarkastellaan yleensä validiteetin ja reliabiliteetin kautta.

Validiteetilla eli tutkimuksen pätevyydellä tarkoitetaan tutkimusmenetelmän kykyä selvittää sitä, mitä sillä on tarkoitus selvittää. Jotta tutkimus olisi sisäisesti validi, on tutkimusongelmien käsitteiden ja johtopäätösten oltava loogisia. Jos tutkimus on ulkoisesti

validi, myös muut tutkijat päätyvät samoihin tulkintoihin. Ulkoista validiutta voidaan arvioida tarkastelemalla johtopäätösten ja empiirisen aineiston välistä suhdetta. Tutkimuksen rakennevaliditeetti kertoo puolestaan siitä, miten hyvin tutkimuksessa käytetyt mittarit mittaavat sitä, mitä niiden oli tarkoitus mitata. (Järvenpää et al. 2000).

Tämän tutkimuksen validiteettia voidaan pitää hyvänä, sillä aineiston hankinnassa käytettiin triangulaatiota. Triangulaatio tarkoittaa useamman kuin yhden menetelmän käyttöä tutkimuksen aineiston keruussa, mikä lisää luotettavuutta, koska käytettävät erilaiset aineiston hankintatavat kompensoivat toistensa heikkouksia ja vahvuuksia (Patton 2002). Tutkimuksen toteuttamiseksi käytettiin yleisesti julkaistuja ja vapaasti käytettävissä olevia lattianpäällystemateriaalien asennusohjeita, mittalaitevalmistajien ohjeita ja alan julkaisuja. Mittausraporttien luotettavuutta ja mittaaajien osaamista tarkasteltaessa käytössä oli ulkopuoliselta taholta saadut todelliset dokumentit. Dokumenttien määrä oli molemmissa tapauksissa suuri. Yleisesti ottaen laadullisessa tutkimuksessa aineiston koolla ei ole välitöntä vaikutus eikä merkitystä tutkimuksen onnistumiseen, vaan tarvittava aineiston määrä on juuri sen verran kuin on aiheen kannalta välttämätöntä (Eskola et al. 1998). Kaiken kaikkiaan tutkimusongelma, käytetyt käsitteet sekä tehdyt johtopäätökset muodostavat loogisen kokonaisuuden.

Tutkimuksen validiteettia heikentää se, että tarkastelun kohteena olleet kosteusmittausraportit eivät olleet uudisrakennuskohteissa tehtyjen mittausten raportteja vaan vesivahinkoraportteja. Käytännössä samat tahot tekevät kuitenkin myös mittauksia uudisrakennuskohteissa tehden vastaavanlaisia mittausraportteja. Syynä kyseisten raporttien valintaan oli se, että ne saatiin puolueettomalta taholta ja edustivat samaa kohderyhmää, mutta olivat kuitenkin useamman eri tahon tekemiä. Lisäksi etuna oli raporttien suuri määrä.

Koska kosteusmittaajien osaamista käsittelevä osuus perustui valmiiden kyselyaineistojen ja todellisten tenttitulosten pistemäärien analysointiin, ei tutkimuksessa voitu vaikuttaa kysymysten muotoiluun ja siten niiden validiteettiin. Tästä huolimatta aineistoa voidaan pitää riittävä osoittamaan, että mittaajien osaamisessa on vielä puutteita.

Laadullisessa tutkimuksessa on mahdollistettava lukijalle tulosten ja niiden perusteella tehtyjen johtopäätösten seuraaminen ja arviointi. Tässä tutkimuksessa aineiston dokumentoinnissa on otettu huomioon systemaattisen esittämisen vaatimukset, mikä osaltaan mahdollistaa tutkimuksen validiteetin arvioinnin. Myös tutkimuksen reliabiliteettia eli toistettavuutta voidaan pitää hyvänä. Jos sama tutkimus toistetaan, on tutkimuksen tulos sama. Reliabiliteetti on parhaiten varmistettavissa tarkan tutkimusprosessin kuvailun avulla.

Objektiivisuuden säilyttäminen tulosten arvioinnin ja jatkosuositusten antamisen aikana on tekijä, joka vaikuttaa merkittävästi. Subjektiivisuutta on pyritty vähentämään perehtymällä mahdollisimman huolellisesti lähdeaineistoon. Tutkimuksen aikana on syntynyt käsitys, että lähdeaineisto on ollut relevantti.

Tutkimuksen luotettavuutta arvioitaessa on kuitenkin syytä ottaa huomioon, että tutkijalla oli aikaisemman työhistorian vuoksi vahva ennakkoymmärrys asioista, mikä on saattanut vaikuttaa tarkastelun kohteena olevien tekijöiden valintaan. Näin ollen tutkijal-

ta on voinut jäädä huomaamatta mahdollisesti toiseen suuntaan ohjaavat havainnot. Tästäkin huolimatta tutkimusprosessin luotettavuuden voidaan arvioida olevan vähintään kohtuullista tasoa.

Kaiken kaikkiaan tutkimusmenetelmää ja tutkimustuloksia arvioitaessa on hyvä muistaa, että kyseessä on laadullinen kuvaileva tutkimus. Tutkimuksen tavoitteena ei siis ollut tuottaa tilastollisesti yleistettäviä tuloksia eikä paneutua syvällisesti yksittäisiin tekijöihin, vaan kuvailla empiirisen tutkimusaineiston avulla kokonaisvaltaisesti betonilattiarakenteiden riittävän kuivumisen määrittämisprosessia. Tässä suhteessa tutkimusta voidaan pitää validina.

8.3 YHTEYS AIKAISEMPIIN TUTKIMUKSIIN

Betonilattioiden kosteuteen liittyviä tutkimuksia, kuten betonin kuivumista, kosteusmitausta ja kosteusvauriota on viimeisen parin kymmenen vuoden aikana tehty useita erityisesti Pohjoismaissa (esim. Pihlajavaara 1964; Adamson 1970; Ahlgren 1972; Nilsson 1977, 1979, 1980, 1988; Hedenblad 1995; Molina 1989; Persson 1993; Norling-Mjörnell 1997; Eronen et al. 1998; Sjöberg 1998; Wirtanen 2002).

Nilsson esittelee jo vuonna 1979 julkaistun tutkimusraporttinsa (Nilsson 1979) kirjallisuustutkimusosuudessa kaikki tässä tutkimuksessa esitetyt yleisimmät betonilattiarakenteiden kosteudenmittausmenetelmät. Nilssonin tutkimuksessa vertaillaan myös eri menetelmillä saatuja mittaustuloksia sekä käsitellään mittaukseen liittyviä virhetekijöitä.

Tässä tutkimuksessa kuten myös lähes kaikissa Suomessa ja Ruotsissa myöhemmin tehdyissä betonin kosteuteen liittyvissä tutkimuksissa viitataan edellä mainittuun Nilssonin tutkimusraporttiin tai muihin häneltä samoihin aikoihin ilmestyneisiin raportteihin (Nilsson 1977; Nilsson et al. 1979; Nilsson 1980) ja ollaan samoilla linjoilla Nilssonin päätelmien kanssa.

Betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen liittyviä epävarmuustekijöitä käsitellään laajemmin Nilssonin (1988), Pastravin (1990), Hedenbladin (1994, 1999) ja Sjöbergin (1998) tutkimuksissa. Näissä ei kuitenkaan osoiteta, miten epävarmuustekijät on otettu huomioon käytännön ohjeissa ja mittauksissa sekä miten mittaustulos voi vaikuttaa betonilattiarakenteelta vaadittavaan kuivumisaikaan ja sitä kautta kustannuksiin. Nilsson et al. (1979) esittävät raportissaan esimerkin betonilattioiden kosteusvaurioiden vuotuisista korjauskustannuksista.

Aikaisempia tutkimuksia käytetään tässä tutkimuksessa lähinnä kirjallisuuslähteinä selittäessä betonilattiarakenteessa olevan kosteuden käyttäytymistä sekä kosteusmittauksen peruseriaatteita ja tarvetta. Missään aikaisemmista tutkimuksista ei ole tarkasteltu koko riittävän kuivumisen määrittämisprosessia, nykyisiä ohjeita ja käytäntöjä sekä niiden vaikutuksia mittaustulokseen ja sitä kautta vaadittavaan kuivumisaikaan.

9 YHTEENVETO

Betonilattioissa ilmenneiden vaurioiden korjauskustannukset ovat yksi kalleimmista talonrakennusurakoiden takuun piiriin kuuluvista kustannuksista. Lattianpäällystevaurion korjauskustannukset voivat olla jopa viisinkertaiset verrattuna alkuperäisiin asennuskustannuksiin, sillä asennuskustannusten lisäksi kustannuksia aiheuttavat muun muassa purku- ja mahdolliset kuivaustyöt. Lisäksi huomioon on otettava toiminnan keskeytymisestä, muutosta, mahdollisten terveyshaittojen korvauksista sekä oikeudenkäyntikuluista aiheutuneet kustannukset. On siis taloudellisesti järkevää suunnitella ja rakentaa betonilattiarakenne niin, ettei kosteusvaurioita pääse syntymään.

Betonin materiaaliominaisuuksista sekä rakennustyöteknisistä seikoista johtuen betonilattiarakenne sisältää rakennusaikana yleensä huomattavan määrän kosteutta. Kosteusvaurioiden välttämiseksi osan tästä kosteudesta tulee poistua ennen kuin betonilattia päällystetään tai pinnoitetaan kosteusherkällä materiaalilla.

Rakennusaikana hyvän rakennustavan mukaisesti toimivan rakennusurakoitsijan tulee huolehtia, että betonilattiat kuivuvat riittävästi ennen päällystystyöhön ryhtymistä. Työmaa-aikataulun kannalta betonin kuivumisen optimointi on tärkeää, sillä betonilattian kuivuminen tahdistaa sisävalmistusvaiheen. Lattianpäällystystyön aloitusajankohdan viivästyminen betonin liiallisen kosteuden takia voi aiheuttaa rakennusprojektiin huomattavia lisäkustannuksia johtuen muun muassa töiden uudelleen mobilisoinnista ja odotuksesta. Merkittävimmät lisäkustannukset syntyvät kuitenkin työmaan valmistusajankohdan siirtymisestä, missä kustannuksia tuottavat työmaan lisääntyvät käyttö- ja yhteiskulut sekä mahdolliset viivästyssakot. Rakennustyömaan aikataulun ja kustannusten kannalta on siis oleellista, ettei betonilattioiden kuivattamiseen myöskään käytetä enemmän aikaa kuin mitä todella on tarpeellista. Laadukkaan betonilattioiden kosteudenhallintatyön tulee johtaa sekä laadukkaaseen lopputulokseen että myös laadukkaaseen toimintaan, mikä tässä yhteydessä tarkoittaa erityisesti suunnitellussa rakentamisaikataulussa ja kustannusarviossa pysymistä.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitkä eri osatekijät vaikuttavat prosessissa jonka lähtökohtana on varmistaa betonilattian riittävä kuivuminen ja millaisiin johtopäätöksiin nämä eri osatekijät voivat johtaa. Tutkimusmenetelmäksi valittiin kuvaileva tutkimus, jossa tarkasteltavana kohteena oli betonilattian riittävän kuivumisen määrittäminen prosessi. Lähtökohtana oli selvittää, mitä riittävällä kuivumisella ylipäätään tarkoitetaan, millaisia betonilattian kosteuteen liittyviä ohjeita, määräyksiä ja käytäntöjä meillä Suomessa on sekä miten nämä vaikuttavat betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan. Prosessin ensimmäisenä vaiheena tarkasteltiin betonilattian riittävän kuivumistason määrittäviä päällystämishetken suurimpia sallittuja kosteusarvoja. Seuraavana vaiheena tarkasteltiin riittävän kuivumisen todentamiseen käytettäviä menetelmiä, joista tarkemman tarkastelun kohteeksi otettiin betonilattian suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin kosteusmittaukseen liittyvien epävarmuustekijöiden huomioon ottamista käytännön mittauksissa sekä kosteudenmittaajien koulutusta.

Tutkimus osoitti, että joissakin niin sanottua hyvää rakennustapaa kuvaavissa julkaisuissa (esimerkiksi *SisäRYL 2000*, *by45/BLY7 Betonilattiat 2002* ja *by47 Betonirakentamisen laatuohjeet*), on esitetty päällystemateriaalikohtaiset alustabetonin suurimmat sallitut suhteellisen kosteuden arvot, joihin betonilattian tulee kuivua ennen päällystystyöhön ryhtymistä. Myös monet materiaalivalmistajat ilmoittavat tuotekohtaisissa asennusohjeissa, mikä alustabetonin kosteus asennushetkellä enimmillään saa olla. Eri julkaisuissa ja asennusohjeissa olevissa kosteusraja-arvoissa havaittiin kuitenkin olevan huomattavia eroja. Saman tuotteen, esimerkiksi kelluvan lautaparketin, betonin suhteellisenä kosteutena ilmoitettu kosteusraja-arvo voi vaihdella jopa 30 % -yksikköä riippuen siitä, mistä lähteestä raja-arvo on peräisin. Joissain lähteissä suurin sallittu kosteus ilmoitetaan suhteellisen kosteuden lisäksi tai pelkästään painoprosenttikosteutena. Kosteusraja-arvoilla on merkittävä vaikutus betonilattian vaadittavan kuivumisajan pituuteen. Saman rakenteen vaadittava kuivumisaika voi vaihdella useita viikkoja riippuen siitä, minkä ohjeen kosteusraja-arvoa noudatetaan. Kuivumisajoissa voi myös olla eroja noudatettaessa saman ohjeen vaihtoehtoisia kosteusraja-arvoja, joista toinen on esitetty suhteellisenä kosteutena ja toinen painoprosenttikosteutena.

Nykyisille kosteusraja-arvoille ei löydy tieteellisiä perusteita. Raja-arvot eivät ota riittävästi huomioon käytettävää kosteusmittausmenetelmää, rakenneratkaisua, betonin ominaisuuksia eivätkä päällystemateriaalin ominaisuuksia. Lähdeviittausten perusteella esimerkiksi *SisäRYL 2000:ssa* olevat kosteusraja-arvot perustuvat ruotsalaisen L-O Nilssonin vuonna 1977 tekemään ehdotukseen. Suomessa sama kosteusraja-arvotaulukko on siirtynyt julkaisusta toiseen lähes muuttumattomana 1980-luvun alusta tähän päivään. Kosteusmittausmenetelmässä on kuitenkin tuona aikana tapahtunut huomattavia muutoksia. Muun muassa mittaussyvyyydet ja vaadittavat tasaantumisaikat ovat muuttuneet. Myös käytettävät mittauslaitteet ovat kehityksen myötä tulleet entistä tarkemmiksi. Mittausmenetelmän ja –laitteiden kehittyminen on johtanut muun muassa siihen, että monissa tapauksissa betonilattian vaadittua kosteustasoa on lähes mahdotonta saavuttaa normaalin rakennusajan puitteissa.

Betonilattian riittävän kuivumisen määrittämiseksi on olemassa erilaisia menetelmiä. Varsinkin päällystemateriaalivalmistajat ilmoittavat asennusohjeissaan vaihtoehtoisia menetelmiä. Tutkimus osoitti, että samalla materiaalilla päällystettävän saman betonilattian vaadittavassa kuivumisajassa voi olla useiden viikkojen mittaisia eroja käytetystä kosteusmittausmenetelmästä riippuen. Esimerkkitapauksissa vaadittavat kuivumisaikat vaihtelivat kolmesta viikosta jopa yli 30 viikkoon. Kuivumisaikat olivat pisimpiä, kun mittaus tehtiin määrittämällä betonin suhteellinen kosteus betoniin poratusta reiästä RT 14-10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* ohjekortin mukaiselta mittaussyvyydeltä.

Kosteusmittausmenetelmistä tarkemman tarkastelun kohteeksi valittiin suhteellisen kosteuden mittaus betoniin poratusta reiästä eli niin sanottu porareikämenetelmä, koska se on yleisin Suomessa nykyisin käytettävistä betonin riittävän kuivumisen määritysmenetelmistä. Betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen liittyy lukuisia epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat mittaustulokseen ja tuloksen tulkintaan. Tutkimuksessa tarkasteltiin muutamia merkittävimpiä mittaustulokseen vaikuttavia tekijöitä, kuten mittauslaitteen ominaisuuksia, mittauspisteen sijaintia, mittausreiän valmistelua sekä lämpötilan vaikutusta.

Tutkimuksessa havaittiin, että mittauslaitteiden käyttöohjeet ja yleiset mittaamiseen liittyvät ohjeet ovat puutteellisia ja osin virheellisiä. Eri julkaisuissa olevissa ohjeissa voi olla huomattavia eroja liittyen mittauksen suorittamiseen. Mittauslaitteiden käyttöohjeissa ei oteta riittävässä määrin huomioon esimerkiksi mittalaitteen vaatimaa tasaantumisaikaa mittaussreissä. Myös mittaussreian valmisteluun liittyvissä ohjeissa on eroja ja puutteita. Muun muassa se, miten kauan mittaussreikä saa tasaantua porauksen jälkeen ennen mittausta sekä miten porareikä on tiivistetty, vaikuttavat merkittävästi mittaustulokseen. Lisäksi betonin lämpötilan sekä ympäröivän ilman lämpötilan vaikutus tulokseen on huomattava. Riittäviä tarkkoja ohjeita esimerkiksi betonin lämpötilan vaikutuksesta sekä menetelmiä lämpötilan aiheuttaman mittausvirheen arvioinniksi ei ole pystytty laatimaan. Käytännössä mittalaitteet myös kalibroidaan pääsääntöisesti liian harvoin. Kalibrointitiheys on yleensä puolesta vuodesta vuoteen. Kaikilla edellä mainituilla tekijöillä on merkittävä vaikutus mittaustulokseen sekä tuloksen tulkintaan ja sitä kautta myös betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan.

Määritettäessä betonilattian riittävää kuivumista mittaamalla betonin kosteus, mittaustuloksen lisäksi mittausraportissa tulee ilmoittaa arvio mittauksen luotettavuudesta. Käytännössä mittauksen luotettavuuden ja siihen oleellisesti liittyvän mittausepävarmuuden arviointi jää kuitenkin yleensä tekemättä. Tämän tutkimuksen yhteydessä tarkastetuissa todellisissa kohteissa tehtyjen betonilattioiden kosteusmittausten raporteista vain 6 %:ssa oli mainittu mittauksen kokonaismittaustarkkuus. Näistä yhdessäkään ei kuitenkaan ollut selityksiä siitä, mistä tämä kokonaismittaustarkkuus muodostuu. Mittauksen luotettavuuden arviointi ei ole käytännössä helppoa. Missään alan julkaisussa ei neuvota, miten tarkastelu tulisi tehdä ja mitä kaikkia asioita siinä tulisi ottaa huomioon. Tämä ei sinänsä ole mikään ihme, sillä betonilattian kriittisiin kosteusraja-arvoihin sekä kosteusmittausmenetelmiin liittyy lukuisia määriä erilaisia epävarmuustekijöitä, joiden suuruutta ja jopa suuntaa on lähes mahdotonta määrittää. Joidenkin yksittäisten mittausepävarmuustekijöiden aiheuttama virhe voi jo yksinään olla niin suuri, että se tekee mittauksesta käytännön kannalta merkityksettömän. Kaiken kaikkiaan sekä itse mittaus että mittausepävarmuuden määrittäminen ovat varsin haastavia tehtäviä, mitkä edellyttävät kosteudenmittaajalta vankkaa osaamista.

Kosteusmittausten luotettavuuden parantamiseksi mittaajille järjestetään koulutusta ja heiltä vaaditaan erilaisia osaamisvaatimuksia täyttyviä pätevyyskriteerejä. Nämä pätevyyskriteerit tai sertifikaatit eivät kuitenkaan vielä takaa, että mittaaja tunnistaa ja pystyy määrittämään lukuisat mittaukseen ja tulosten tulkintaan liittyvät epävarmuustekijät. Vaikka mittausepävarmuuden arviointia varten olisi olemassa selkeät ohjeet, on melko epätodennäköistä, että kaikki koulutetutkaan kosteudenmittaajat kykenisivät sitä riittävällä tarkkuudella tekemään.

Kokonaisuutenaan tutkimus osoitti, että betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyy useita tekijöitä, jotka aiheuttavat mittaustulokseen ja tuloksen tulkintaan hallitsematonta hajontaa. Lisäksi tutkimus osoitti, että mittaustulos ja sen tulkinta vaikuttavat merkittävästi betonilattian vaadittavaan kuivumisaikaan. Näin ollen tutkimusta ohjaavaa työhypoteesia ”*betonilattian riittävän kuivumisen määrittämiseen liittyy hallitsematonta hajontaa, jonka vaikutus rakenteen vaadittavaan kuivumisaikaan on merkittävä.*” voidaan pitää totena. Liian lyhyt kuivumisaika voi johtaa myöhemmin syntyvään kosteusvaurioon ja liian pitkä kuivatusaika taas puolestaan lattianpäällystyön aloi-

tusajankohdan viivästymiseen. Molemmat tapaukset voivat aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia rakentamisprosessissa.

Kaiken kaikkiaan nykyistä betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen perustuvaa betonilattioiden riittävän kuivumisen määrittämenetelmää ei voida pitää luotettavana. Ensinnäkään menetelmä ei ole pätevä. Ohjeen mukaisilta mittaussyvyyksiltä saatu raja-arvo alhaisempi kosteuskukema ei anna varmuutta siitä, että lattianpäällyste ei vaurioitu betonin sisältämän kosteuden takia. Lisäksi mittausmenetelmään liittyy lukuisia erilaisia epävarmuustekijöitä, joiden suuruutta ja suuntaa on käytännössä mahdotonta määrittää. Myös mittausten dokumentointikäytännöissä on merkittäviä puutteita, mikä puolestaan heikentää mittausten jäljitettävyydessä. Kosteusmittaajien koulutus ja erilaiset pätevyudet eivät juurikaan lisää mittausten luotettavuutta.

Tutkimuksen perusteella voitiin tunnistaa selkeä jatkotutkimus- ja tuotekehitystarve. Toimenpide-ehdotuksena on, että rakennesuunnittelun apuvälineeksi kehitetään päällystemateriaalin ja betonin ominaisuudet, rakenneratkaisu sekä rakennetta ympäröivän ilman olosuhteet huomioon ottava rakennusfysikaalinen laskentaohjelma, jonka perusteella tapauskohtaisesti voitaisiin määrittää kunkin betonilattiarakenteen vaadittava kuivumisaika. Tämä uusi menetelmä on kuitenkin vasta idea-asteella. Sen kehitystyö vaatii vielä lisätutkimuksia liittyen muun muassa betonin ja päällystemateriaalien kosteuden siirto-ominaisuuksiin. Laskentamenetelmän etuna verrattuna nykyiseen riittävän kuivumisen määrittämenetelmään on muun muassa se, että toimenpide tehdään jo rakennesuunnitteluvaiheessa. Tällöin menetelmä on toimintaa ohjaava. Siinä varmistetaan etukäteen, että rakenne on kosteusteknisesti toimiva ja vaadittava kuivumisaika on rakentamisaikatauluun sopiva. Laskentamenetelmä ottaa huomioon materiaalien kosteuden siirto-ominaisuudet vähentäen riskirakenteiden määrää. Materiaalivalinnoilla voidaan lyhentää vaadittavaa kuivumisaikaa ja näin ollen vaikuttaa rakentamisaikatauluun ja kustannuksiin. Menetelmää voitaisiin käyttää myös hyväksi päällystemateriaalin kehitystyössä. Kaiken kaikkiaan betonilattioiden päällystämiseen liittyvien ongelmien ratkaisu edellyttää erityisesti lattianpäällysteiden kehittämistä sellaiseen suuntaan, että niiden vesihöyrynläpäisevyys ja kosteuskestävyys paranisivat. Tällöin myös riittävän kuivumisen määrittäprosessin kriittinen merkitys vähenisi.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Abrahamsson, A., Tammo, K. 2003. Inverkan av regn och avjämningsmassa på uttorkning av betong- Avd. Byggnadsmaterial. Rapport TVBM-5053. Lunds Tekniska Högskola, 92 s.

ACI 302. 2006. Guide for Concrete Slabs that Receive Moisture-Sensitive Flooring Materials. Reported by ACI Commettee 302. 2R-06. American Concrete Institute, August 15, 42 s.

Adamson, B., Ahlgren, L., Bergström, S. G., Nevander, L. E. 1970. Fukt, Byggnadstekniska fuktproblem. Stockholm, Statens råd för Byggnadsforskning, programskrift 12, 132 s.

Adamson, B, Ahlgren, L., Bergström, S.G., Larsson, P-G., Mattson, P-O. 1973. Fukt i golv och väggar. Stockholm, Statens institut för Byggnadsforskning, rapport 11, 115 s.

Ahlgren, L. 1972. Fuktfixering i porösa byggnadsmaterial. Rapport 36. Institutionen för byggnadsteknik, Tekniska Högskolan i Lund, 200 s

Al-Neshawy, F. 1996. Sementtityypin, silikan ja huokostamisen vaikutus betonin kuivumiseen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto, Betoniteknikka, 101 s.

Alexandersson, J. 2004. Secondary emission from alkali attack on adhesives and PVC floorings, Byggnadsmaterial, Rapport TVBM-3115. Lunds Tekniska Högskola, 29 s.

ASTM F 170-07/08. Standard Practice for Preparing Concrete Floor for receive Resilient Flooring. Test Method for Measuring Moisture Vapor Emission Rate of Concrete Subfloor Using Anhydrous Calcium Chloride.

ASTM F 1869-04. Standard Test Method for Measuring Moisture Vapor Emission Rate of Concrete Subfloor Using Anhydrous Calcium Chloride.

ASTM E 1907 and D 4263. Standard Test Method for Indicating Moisture in Concrete by the Plastic Sheet Method.

ASTM F 2170-02 Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes.

Asumisterveysohje. 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Helsinki, 93 s

Asumisterveysopas. 2005. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Sosiaali- ja terveysministeriö. Ympäristö ja Terveyslehti. Pori, 184 s.

Betonghandbok. 1997. Material, utgåva 2. Svensk Byggtjänst. Stockholm, 1127 s.

Blomsterberg, Å., Sikander, E., Ruud, S. 1998. Moderna självdragsventilerade skolor – utvärdering av ventilation och fukt. Byggeforskningsrådet. Stockholm. Rapport A 1997:13, 86 s.

Bornehag C-G.1991. Indoor Climate in Dalen. Physical measurements in 90 flats at Enskededalen, Stockholm. Stockholm:Byggeforskningsrådet BFR, 54 s.

BS 5325:2002. British Standard. Code of practice for installation of textile floor covering

BS 8203:1996. British Standard. Code of practice for installation of resilient floor covering

BS 8203:1987. British Standard. Code of practice for flooring of timber, timber products and wood based panel products

by12. 1981. Betonilattiat, luokitusohjeet, päällystettävyysohjeet. Suomen Betoniyhdistys ry, 27 s.

by12. 1985. Betonilattiat, luokitusohjeet, päällystettävyysohjeet. Suomen Betoniyhdistys ry, 40 s.

by31/BLY4. 1989. Betonilattiat, Luokitus-, päällystettävyysohjeet, suunnittelu- ja rakentamishjeet. Suomen Betoniyhdistys ry, Suomen betonilattiahydistys ry, 127 s.

by35/BLY6. 1992. Betonilattioiden pinnoitusohjeet, 31 s.

by45/BLY7. 1997. Betonilattiat. Suomen Betoniyhdistys ry. Suomen Betonilattiahydistys ry. Helsinki, 145 s.

by45/BLY7. 2000. Betonilattiat 2000. Suomen Betoniyhdistys ry. Suomen Betonilattiahydistys ry. Jyväskylä, 175 s.

by45/BLY7. 2002. Betonilattiat 2002. Suomen Betoniyhdistys ry. Suomen Betonilattiahydistys ry. Jyväskylä, 175 s.

by47. 2007. Betonirakentamisen laatuohjeet. Suomen Betoniyhdistys ry. 159 s.

Climent, M.A., de Vera, G., López, J., Garcia, D., Andrade, C. 2000. Transport of chlorides through non-saturated concrete after an initial limited chloride supply, 2nd International RILEM Workshop on Testing and Modeling the Chloride Ingress into Concrete, 11-12 September 2000, Paris, France, s. 173-188.

Copeland, L.E., Bragg, R.H. 1955. Self-desiccation in Portland-cement pastes, ASTM Bulletin, No 204, s. 34-39.

Craig,P., Donnelly,G. 2006. Moisture testing of concrete slabs. Concrete International. September 2006 Vol.28 No.9, s. 23-27.

Dively, R. W. 1994. Osmotic Blistering of Coatings and Linins Applied to Concrete Surfaces. Material Performance (NACE), Vol.33, No.5, May 1994, s. 42.

Ericsson, H., Hellström, B. 1984. Skador i golv på underlag av flytspacklad betong under tider 1977- 1983. Stockholm. Byggforskningsrådet. Rapport R193: 1984, 104 s.

Eronen J. 1996. Kuorilaattarakenteen kuivuminen ja kutistuminen. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto, diplomityö, 109 s.

Eronen, J., Räsänen, V., Wirtanen, L., Penttala, V. 1998. Päälystettyjen betonilattioiden emissiot. Teknillinen korkeakoulu. Rakennusmateriaalitekniikka. Julkaisu 8, 35 s.

Eronen, J., Wirtanen, L., Räsänen, V., Penttala, V. 1998. Lattiapäälysteiden vaikutus betonilattioiden kuivumiseen. Teknillinen korkeakoulu. Rakennusmateriaalitekniikka. Julkaisu 15.

Eskola, J., Suoranta, J.1998, Johdatus laadulliseen tutkimukseen, 2. painos, Vastapaino. 268 s.

Francy, O. 1998 Modélisation de la pénétration des ions chlorures dans les mortier partiellement saturés en eau. These du doctorat, LMDC, Université Paul Sabatier, Tuoulouse, 171 s.

Finanssialan keskusliitto. 2007. Rakennusten ja huoneistojen vesivuotovahinkojen tutkiminen – ohje, 11 s.

Fritsche M. 1996. Kemisk emission från golvlm på betong. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. Institution för byggnadsmaterial., 44 s.

Fredin, H., Skoog, H. 2005. Fuktmätning i betong. Temperatureffekter samt korrigeringsförfarande vid RF-mätning. Lund Tekniska Högskola. Avd Byggnadsmaterial. Examensarbete. TVBM-5057. Lund, 99 s.

Gause, G.R, Tucker, J. 1940. Method for Determining the Moisture Condition in Hardened Concrete. Journal of Research, the National Bureau of Standard. V. 25, 1940, s. 403-416.

Gaul, R.W. Moisture-Caused Coating Failures: Facts and Fictions. Concrete Repair Digest. October/November 1996, s. 255-259.

Grasley, F.C., Lange, D.A, D’ambrosia, M., D., Villalobos-Chapa, S. 2006. Relative Humidity in Concrete. Concrete International, Vol. 28 No.10. October 2006, s. 51-57.

Gårlin, C., Hjort, M. 1995. Att mäta RH i betong – In situ mätningar. Institution for byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola. E-95:3, 60 s.

Guide to the expression of uncertainty in measurement.1995. ISO/IEC Guide 98:1

Gustafsson, H. 1990. Kemisk emission från byggnadsmaterial- beskrivning av skadefall, mätteknik och åtgärder. SP Rapport 1990:25, 65 s.

Hall, C., Hoff, W.D. 2002. Water transport in brick, stone and concrete. Spon Press. London, 318 s.

Harriman, L, G. 1995. Drying Concrete. Construction Specifier. Vol. 48, no. 3, March 1995, s. 55-64.

Hedenblad, G. 1991. Fuktdiffusionskoefficienter för betong, cementbruk och cement-pasta, Fukt i byggnader och material, Forskning 1987-1990. Fuktgruppen vid LTH, Byggeforskningsrådet, Rapport R7:1991.

Hedenblad, G.1993a. Fuktsäkerhet i byggnader. Torktider för betong efter vattenskada. Byggeforskningsrådet, 31 s.

Hedenblad, G. 1993b. Moisture permeability of mature concrete, cement mortar and cement paste PH.D thesis Division of Building Material, Lund Institute of Technology. Report TVBM-1014, 250 s.

Hedenblad, G., Janz, M. 1994. Inverkan av alkali på uppmätt RH i betong. Avdelningen för byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3057, 26 s.

Hedenblad, G. 1995. Fuktsäkerhet i byggnader. Uttorkning av byggfukt i betong – Torktider och fuktmätning. Byggeforskningsrådet T12:1995, 54 s.

Hedenblad, G. 1999. Mätosäkerhetsberäkningar för relativ fuktighet i betong. Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-7146.

Heinonen, M. 2001. Kaasujen kosteuden mittaaminen, MIKES Julkaisu J5/2001, 108 s.

Heinonen, M. 2006. Uncertainty in humidity measurements. Publication of the EURO-MET Workshop P758. Mittatekniikan keskus. J4/2006. Espoo, 48 s.

Hillerborg, A. 1977. Compendium in building materials AK, Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, Lund, 151 s.

Hus AMA 83. Allmän material- och arbetsbeskrivning for husbyggnadsarbeten. Svensk Byggtjänst 1983.

Hus AMA 98. Allmän material- och arbetsbeskrivning for husbyggnadsarbeten. Svensk Byggtjänst Stockholm 1998.

Huttunen, J. 2003. Rakennusfysiikka ohjelmat auttavat ymmärtämään paremmin rakenteiden toimintaa. Rakennustekniikka 5/2003, s. 67–69.

Häkkä-Rönholm, E., Haimala, T. Rautiainen, L. 1999. Teollisuuslattioiden pinnoitus, Raportti 8.11.1999. VTT Rakennustekniikka, BLY 11, 38 s.

Johansson K. 1991. Lisälämmityksen ja lisäaineiden vaikutus betonilattioiden kuivumiseen. Espoo. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasta, Betonitekniikka, Diplomityö, 126 s.

Johansson, K., Komonen, J., Penttala, V. 1995. Betonin paikallarakentamisen nopeat tekniikat työmaaohje nopeasti kuivuvien ja kovettuvien betonien valitsemiseksi. Espoo. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, Betonitekniikka, 34 s.

Järnström, H. 2005. Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmatapauksissa. VTT julkaisu 571. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 76 s.

Järvenpää, E., Kosonen, K. 2000. Johdatus tutkimusmenetelmiin ja tutkimuksen tekemiseen. Teknillinen korkeakoulu, 101 s.

Kanare, H.M. 2005. Concrete Floors and Moisture. Portland Cement Association. Engineering Bulletin 119, 156 s.

Kankainen, J., Junnonen, J-M. 1999. RTK-työmaakansio, Rakennusteollisuuden Keskusliitto, 505 s.

Karlsson, S., Banhidi, Z.G., Albertsson, A-C. 1989. Gas chromatographic detection of volatile amines found in indoor air due to putrefactive degradation of casein-containing building materials. Mater. Struct. v 22. no 129. May 1989, s. 163–169.

Kauppi, A. 2002. Kosteudenmittaajien pätevytyminen. Sisäilmastoseminaari 2002. SIY raportti 17, s. 103–106.

Kille, R.A., Lehmann, J. 2005. CM-Messung, aber richtig. Einfluss der Probennahme auf das Messergebnis. Boden-Profi- Folge 12. Praxis Boden. RZ 4/2005. s. 92-93.

Klemens, T. 2006. How to Moisture Test Concrete Floors. No single test tells you everything. Concrete Construction. February 2006, s. 45-49.

Kreiss, K. 1998. Sick building syndrome and building-related illness. Environmental and occupational medicine. 3 rd edition. Lippincott-Raven Publishers, s. 1471-1477

Lainio, K., Juvas, K. 1998 Kosteiden tilojen laatoitukset. Addtek Research & Development Oy. Raportti MATLAB 21/98.

Lattian- ja seinänpäällysteliitto. 2003. Lattiapäällystealan työohjekortti nro 81. Kosteusmittaus betonista.

Leivo, V., Rantala, J. 2002 a. Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikka. Julkaisu 120, 106 s. + 13 liites.

Leivo, V., Rantala, J. 2002 b. Maanvastaisten alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikka. Rakennetekniikan osasto. Julkaisu 121, 33 s.+ 11 liites.

Leivo, V., Rantala, J. 2007. Maanvastaisten alapohjarakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun reunaehdot. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos, Rakennusfysiikka 2007, 18.-19.10.2007, Tampere, Seminaarijulkaisu 1, s. 39–48.

Lindberg, R., Wahlman, J., Suonketo, J., Paukku E. 2002. Kosteusvirta-tutkimus. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. Julkaisu 119. Tampere, 54 s. + 11 liites.

Littmann K., Players, G. 2000. Influence of application parameters on the durability of polymer coating on concrete. Materials Week, München 25.09.2000 - 28.09.2000, Hrsg: Dt. Keram. Ges, s.12.

Liuksiala, A. 1999. Rakennussopimukset. Käytännön käsikirja. Rakennuskirja Oy. Helsinki, 295 s.

Lumme, P., Merikallio, T. 1997. Betonin kosteuden hallinta. Kestävä kivitaloprojekti. Suomen Betonitieto Oy, Helsinki, 29 s.

Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999. Finlex 5.2.1999/132. www.finlex.fi/laki
Malmivaara, K., Virrantuomi, T. 1998. Rakenteiden kosteusmittauksen kehittämistutkimus. Helsingin teknillisen oppilaitoksen projektityö.

Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M. 2006. Concrete. Microstructure, Properties, and Materials. Third Edition. McGraw-Hill, 659 s.

Merikallio, T. 1994. Murskatusta kevytsorasta valmistetun betonin kuivuminen ja kutistuminen liittolevyrakenteessa. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Betonitekniikka. Diplomityö. Espoo, 113 s.

Merikallio, T., Lumme, P., Penttala, V. 1995. Betonilattioiden kuivuminen pinnoituskeloiseksi. Helsinki. Betoniyhdistys ry. Betoni-lehti 1/91, s. 30–35.

Merikallio, T., Penttala, V. 1996. Betonityypin ja pinnoitemateriaalin vaikutus kosteuskakauman muuttumiseen pinnoittamisen jälkeen. Espoo, Teknillinen korkeakoulu. Tutkimusraportti RBET 35, 29 s.

Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Suomen Betonitieto Oy, Betonikeskus ry, 62 s.

Merikallio, T. 2003. Rakennustyömaan olosuhdehallinta. Ohjeita ja esimerkkejä. Humittest Oy, 51 s. (luettavissa www.betoni.com/files/files/yhteenvetoraportti.pdf)

Merikallio, T. Niemi, S., Komonen, J. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Suomen Betonitieto Oy, Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry, 97 s.

Mikes 2005. Metrologian neuvottelukunta. Kemian metrologian opas. Mikes metrologia J6/2005. Toimittanut Tapio Ehder. Kemian ja mikrobiologian jaosto. Kemian työryhmä. Helsinki, 65 s.

Molina, L. 1989. Measurement of high humidity in cementious material at an early age. Nordic concrete research, Trondheim, Norske Betongförening. CIB rapport 3:90, 67 s.

Moosman, K. 2005. A book for floor problems. The Concrete Producer 5/1/2005

Niemi, S. 2001. Betonilattiarakenteiden kosteusseuranta päällystämisen jälkeen: menetelmiä ja tuloksia. Sisäilmaseminaari 2001. SIY Raportti 15, s. 245–250.

Nieminen, J., Rautiainen, L. 1990. Betonilattioiden kosteusmittaus työmaaolosuhteissa ja päällystettävyyksivaatimukset. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 1129, 42 s.

Nielsen, G.D., Hansen, L.F., Hammar, M., Veirup, K.V, Wolkoff, P. 1997 Chemical and biological evaluation of building material emissions. I. A screening procedure based on a closed emission system. Indoor Air, 7, 1, s. 8-16.

Nielsen, K.F., Holm, G., Uttrup, L.P., Nielsen, P.A. 2004. Mould growth on building materials under low water activities- influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism. International Biodeterioration & Biodegradation 54, s. 325–336.

Niiniluoto, I. 2002. Johdatus tieteenfilosofiaan. Helsinki. Otava, 314 s.

Nilsson, L-O. 1977. Fuktproblem vid betonggolv. Lunds Tekniska Högskola. Avdelningen för byggnadsmaterial. Rapport TVBM-3002, 188 s.

Nilsson, L-O. 1979. Fuktmätning Del 2 av byggfukt i betongplatta på mark, torknings och mätmetoder. Avdelningen för byggnadsmaterial. Lunds Tekniska Högskola . Rapport TVBM-3008, 75 s.

Nilsson, L-O., Englund, H., Ericson, U., Rising, C. 1979. Skadeinventering & Fältnätningar. Del 3 av byggfukt i betongplatta på mark, torknings och mätmetoder. Avdelningen för byggnadsmaterial. Lunds Tekniska Högskola . Rapport TVBM-3009.

Nilsson, L-O. 1980. Hygroscopic moisture in concrete. Drying, Measurements & Related Material Properties. Lund, Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, Report TVBM-1003, 162 s.

Nilsson, L-O., Hedenblad, G. 1987. Kritiska fukttillstånd för några byggnadsmaterial – Preliminär undersökning. Rapport TVBM-3028, Byggnadsmaterial, LTH, Lund

Nilsson, L-O., 1988. Temperature effects in relative humidity measurements on concrete – some preliminary studies. Proceedings of Nordic Symposium on Building Physics, Lund. BFR-Rapport D13:1988, s. 456-462.

Nilsson, L-O. 2004. Fuktpåverkan på material, kritiska fuktnivåer – en informations-skrift. Avdelningen för byggnadsmaterial. Lund Tekniska Högskola. Rapport TVBM-7178, 79 s.

Nilsson, L-O, Sjöberg, A., Togerö, Å. 2005. Fuktmätning i byggnader. En informations-skrift. Lund Tekniska Högskola. TVBM-7188, 64 s.

Nordtest, 1996. NT Build 475. Relative humidity: Using electrical instruments with hygroscopic sensors, 3 s.

Norling -Mjörnell K. 1997. Moisture Conditions in High Performance Concrete- mathematical modelling and measurements. Department of Building Materials. Chalmers University of Technology, Goteborg. P-97:6, 126 s.

Näykki, T. 2006. Mittausepävarmuuden arviointi. Suomen ympäristökeskus (SYKE), laboratorio. Ympäristömittausten laatu 1.11.2006. www.ymparisto.fi, luettu 11.12.2008.

Olkkonen, T. 1993. Johdatus teollisuustalouden tutkimustyöhön. Teknillinen korkeakoulu. Tuotantotalouden laitos. Teollisuustalouden laboratorio, Raportti no 152/1993/Teta, 113 s.

Otto, D., Mølhave, L., Rose, G., Hudnell, H.K., House, D. 1990. Neurobehavioral and sensory irritant effects of controlled exposure to a complex mixture of volatile organic compounds. Neurotoxicology and Teratol., 12, 6, s. 649-652.

Pastrav, M. 1990. Moisture and temperature measurements in concrete. Risk for misleading result when measuring in drilled holes. Proceedings of the 2 nd Nordic Symposium of Building Physics in Nordic Countries, NTH, Trondheim, 6 s.

Patton, M.Q. 2002. Qualitative evaluation and research methods. 3 rd ed. Thousand Oaks, California: Sage, 127 s.

Persson, B. 1993. Beräkningsprogram ”tork” for val av vct hos byggfuktfri betong, Lund Tekniska Högskola. Avdelningen for byggnadsmaterial. Intern rapport TVBM-7050, 7.s

Persson, B. 1994. Långtidsuttorkning av filigranbjälklag. Lund, Lunds Tekniska Högskola. Utdragsrapport nr U94.03, 11 s.

Persson, B. 2003. Golvsystem på betong - fuktpåverkan, kemisk emission och vidhäftning. Avdelningen för Byggnadsmaterial. Lund Tekniska Högskola. Rapport TVBM-7165, upplaga 2.

Pihlajavaara, S.E. 1964. Johdatus betonin kuivumisilmiöihin. Helsinki, Valtion teknillinen tutkimuslaitos, 115 s.

Pihlajavaara, S.E. 1965. On the main features and methods of investigation of drying and related phenomena in concrete. Ph.d.Thesis, Publ. No 100, Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Helsinki.

Pihlajavaara, S.E. 1974. On practical estimation of moisture content of drying concrete structures. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Betoniseminaari, 26 s.

Pirinen, J. 1999. Hyvän rakennustavan mukainen pientalojen kosteuden hallinta eri vuosikymmeninä. Lisensiaatintutkimus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka, 126 s.

Powers, T., C. 1947. A discussion of cement hydration in relation to the curing of concrete. RX025, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 15 s.

Powers, T.C., Browyard, T. L. 1947. Studies on the physical properties of hardened Portland cement paste, Journal of the American Concrete Institute, Proceedings 43. PCA, Bulletin 22, Chicago, s. 992-101

Powers, T.C. 1949. The non-evaporable water content of hardened Portland cement paste – Its significance for concrete research and its method of determination, ASTM Bulletin No 158, May, s. 68-76.

Powers, T.C. 1960. Physical Properties of Cement Paste Proceedings of the Fourth Int. Symp. of the Chem. of Cement. Washington. Vol. 11, s. 577- 609.

Protimeter. 2005. Protimeter Moisture Measuring System. Instruction Manual. INS5800A, October 2005. GE Sensing, 20 s.

RATEKO. 2008. Rakenteiden kosteudenmittaaja – henkilösertifiointikoulutus. Rakennusteollisuuden koulutuskeskus Rateko. [www. rakennusteollisuus.fi /RATEKO /Koulutusohjelmat](http://www.rakennusteollisuus.fi/RATEKO/Koulutusohjelmat), luettu 3.9.2008.

RIL 115- 1984. Lämmön- ja kosteudeneristys. Käsikirja. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, 389 s.

Rotronic, 2007. Humidity/Temperature measurement. 132 s. (luettavissa: [www. rotro-nic-humidity.com/_uplod/gen_downloads/_Katalog_CH_E-pdf](http://www.rotro-nic-humidity.com/_uplod/gen_downloads/_Katalog_CH_E-pdf). luettu 15.2.2009.)

RT 14-10675. 1998. Betonin suhteellisen kosteuden mittaust. Ohjetiedosto. Rakennustietosäätiö.

RYL81. 1981. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset RYL 81. Rakennuskirja, 438 s.

RYL90. 1989. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Rakennustietosäätiö, RT 14-10380, 482 s.

Saarela, K. 1999. Emission from floor coverings. Organic Indoor Air Pollutants. Occurrence- Measurement-Evaluation. Edit by T. Salthammer. Wiley-VCH, s.185-202.

Salmi, T., Järvenpää, M. 2000 Laskentatoimen case-tutkimus ja nomoteettinen tutkimusajattelu sulassa sovussa. Liiketaloudellinen aikakausikirja, No 2, s. 263-275.

Sedera, P.J., Feldman, R.F., Swenson, E.G. 1966 Effect of sorbed water on some mechanical properties of hydrated Portland cement pastes and compacts, Washington, Symp. on Structure on Portland cement paste and concrete. Special report 90, Publ. 1389

SFS 3700. 1998. Perus- ja yleistermien sanasto, 3. painos

Silvast, M. 1994. Nopeasti kuivuvat työmaabetonit. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasta, Betonitekniikan laboratorio, diplomityö, 96 s.

Siro, H., Rytövuori, H. 1980. Betonilattioiden päällystettävyyys. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio. Tiedonanto 70, 86 s.

SisäRYL 2000. (1998). Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, Talonrakennuksen sisätyöt. RT 14-10668. Rakennustietosäätiö, 416 s.

Sjöberg A. 1998. Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong med kapacitiva fuktgivare – en bedömning av faktor som påverkar osäkerheten samt hur de kan minskas. Institutionen för byggnadsmaterial. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. P-98:1, 60 s.

Sjöberg, A., Wengholt Johnsson H. 1999. Fukt- och emissionsförhållanden vid limning av PVC- och linoleummatta på betong. Institutionen för byggnadsmaterial. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. P-99:1.

Sjöberg, A. 2001. Secondary emission from concrete floors with bonded flooring materials. –effect of alkaline hydrolysis and stored decomposition products. Chalmers University of technology. Department of Building Materials. Göteborg, 188 s.

Sjöberg, A., Nilsson, L-O. 2002. Fuktmätning i betonggolv med golvvärme. Etapp I: Förstudie. Institution för Byggnadsmaterial, Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg. Publikation P-02:1.

Sjöberg, A., Nilsson, L-O. 2007. Fuktmätning i betonggolv med golvvärme. Etapp II: Täta golvbeläggningar. TVBM-3140, avd Byggnadsmaterial, LTH, Lund.

Springenschmid, R. Fleischer, W. 1993. Über das Schwinden von Beton, Schwindmessungen und Schwindrisse. Beton- und Stahlbetonbau 88, Heft 11, s. 297-301.

Suprenant, B.A, Malisch, W.R. 2000. Are moisture test on target? Concrete Construction. January 2000, s. 61-69.

Suprenant, B. A. 2003. Design of slabs that Receive Moisture –Sensitive Floor Coverings. Concrete International. Vol.25. No.3, March 2003, s.84–88.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma A1 (2006) Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. [www.ymparisto.fi/ rakentamismääräykset](http://www.ymparisto.fi/rakentamismääräykset)

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2 (1998) Kosteus, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. www.ymparisto.fi/rakentamismääräykset.

Stake, R.E. 1994. Identification of the case. In N.K. & Y.S. Lincoln. Handbook of quality research. Sage Publications, Thousand Oaks, CA, s. 236-247

Taylor, B.N., Kuyatt, C.E. 1994. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurements Results. National Institute of Standards and Technology (NIST), NIST Technical Note 1297, 1994 Edition, Washington, USA, 20 s.

Teknocalor. 2003. Kosteusanalysointilaite DOMA Plus LFLT-anturilla. Käyttöohje. Versio 2003, 8 s. (luettu 3.2.2007, www.teknocalor.fi)

Terveysturvallisuuslaki 19.8.1994/763. Sosiaali- ja terveysministeriö. www.finlex.fi.

Testo. 2005. Field guide. Building moisture. With practical advice, tips and tricks, 83 s. (luettu 21.2.2007. www.testo-international.com)

Uusitalo, H. 2001. Tiede, tutkimus ja tutkielma. Johdatus tutkielman maailmaan. Juva: WSOY, 121 s.

Vahinkourakointiliikkeiden auktorisointivaatimukset. 2006. [www.vahinkopalvelut.net /var/pdf/ AUKTORISOINTIVAATIMUKSET2006](http://www.vahinkopalvelut.net/var/pdf/AUKTORISOINTIVAATIMUKSET2006), luettu 5.9.2008

Vaisala. 1991. Käyttöohje. Betonin kosteuden mittaus. Helsinki, 16 s.

Vaisala. 1989. Käyttöohje HMP 35 / HMP 36 mittapää. Vaisala sensor systems, 33 s.

Vaisala. 2006. Vaisala HUMICAP Set for Measuring Humidity in Concrete HM44, 52 s.

Varto, J. 1992. Laadullisen tutkimuksen metodologia. Kirjayhtymä, 124 s.

Viitanen H. 2004. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet – betonin homeenkesto. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 26 s.

Villberg, K., Saarela, K., Tirkkonen, T., Pasanen, A-L., Kasanen, J-P., Pasanen, P., Kal-liokoski, P., Mussalo-Rauhamaa, H., Malmberg, M., Haahtela, T. 2004. Indoor air quality control. VTT julkaisu 540. Espoo, 192 s.

Weckström, T. 2005. Lämpötilan mittaus. Mikes Metrologia. Julkaisu J1/2005. 2.painos. Helsinki, 138 s.

Wengholt-Johnsson, H. 1995. Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika be-tongkvalitet och fuktbelastning. Chalmers tekniska högskola. Institutionen för bygg-nadsmaterial. Publikation P-95:4, 58 s.

Wengholt-Johnsson, H. 1998. Golvmaterial på betongunderlag – fältnätningar av tork-tider och emissioner i kv Gärsrådet, Umeå. NCC/SBUF, 27 s.

Wirtanen, L., Eronen, J., Räsänen, V., Penttala, V. 1998. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutus betonin kuivumiseen. Teknillinen korkeakoulu, Rakennusmateriaa-liteknikka, Julkaisu 10, 39 s.

Wirtanen, L. 2001. Ala- ja välipohjarakenteiden kosteushistoria ja emissiot kosteusvau-riotapauksessa. Lisensiaatintyö. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötek-niikan osasto.

Wirtanen, L., Eronen, J., Penttala, V. 2002. The moisture content and emission from floor subjected to a moisture load. Proceedings of the 9 th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Monterey, California, 30 June -4 July 2002. Vol. 3. S. 244-249.

Wirtanen, L. 2005 Influence of Moisture and Substrate on the Emission of Volatile Or-ganic Compounds from Wall Structures. Helsinki University of Technology, Building Material Technology, Report 19. Espoo, 194 s. + liit. 131s.

YSE 1998. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998. RT 16-10660. Rakennus-tietosäätiö, 19 s.

JULKAISEMATTOMAT LÄHTEET

Littmann. 2007. Kirjallinen tiedonanto. Sähköposti, 7.3.2007

Nilsson. 2006. Kirjallinen tiedonanto. Sähköposti, 21.12.2006

Laitinen, M., Niemi, S. 2004. Eri betonilaatujen RH:n ja p-% kosteuden välinen yhteys. Humittest Oy:n laboratoriotutkimus.

Merikallio T., Toivanen M. 2009. Betonilattian päällystämisaikajankohdan viivästymisen vaikutus rakentamisaikatauluun ja kustannuksiin. Teknillinen korkeakoulu. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos. Rakentamistalous.

Niemi, S., Merikallio, T. 1999. Eri betonilaatujen todellisen kuivumisen ja pintakosteusmittarilla mitatun kosteuspitoisuuden välinen yhteys. Humittest Oy:n laboratoriotutkimus.

Niemi, S. 2000. Porareikämittauksen tiivistyksen vaikutus mittaustulokseen. Humittest Oy:n laboratoriotutkimus.

Niemi, S. 2001. Porauksen jälkeisten toimenpiteiden vaikutus betonin porareikämittaukseen. Humittest Oy:n laboratoriotutkimus.

Niemi, S., Leskinen, M. 2007. Lattianpäällystyskokeet. Humi-Group Oy. BePO-projektin laboratorioskokeiden tutkimusraportti 06062007.

SÄHKÖISET LÄHTEET (www-sivut)

www.timberwise.fi/installation, luettu 30.11.2007
www.kareliaparketti.fi, luettu 17.11.2007
www.freudenberg.sci.fi, luettu 8.11.2007
www.fattore.fi/ohjeet, luettu 30.11.2007
www.kareliaparketti.fi, luettu 30.11.2007
www.freudenberg.sci.fi, luettu 8.11.2007
www.ksuni.fi/tuotteet/kosteusmittari, luettu 11.11.2007
www.teknocalor.fi/mittauslaitteet, luettu 12.11.2007
www.pintakeskus-ketonen.fi, luettu 11.11.2007
www.tarkett.com, luettu 13.11.2007
www.karitma.fi, luettu 28.11.2007
www.kahrs.com, luettu 8.11.2007
www.europe.pergo.com, luettu 30.11.2007
www.orientoccident.fi, luettu 8.11.2007
www.maxit.fi, luettu 17.11.2007
www.vaportest.com, luettu 24.6.2008
www.munters.com, luettu 21.2.2007
www.vaportest.com, luettu 24.6.2008

LIITE 1 RATEKO:n kosteusmittauskoulutukseen osallistuneille koulutuksen alussa esitetyt kysymykset sekä niihin esitettyjen vastausten ryhmittely

Rakennusteollisuuden koulutuskeskus RATEKO:n kosteusmittauskoulutukseen osallistuville kurssi alussa esittämät kysymykset olivat seuraavat:

1. Nimi, syntymäaika ja yhteystiedot
2. Koulutus ja valmistumisvuosi
3. Työkokemus
4. Kokemus kosteusmittauksesta
5. Oma arvio rakennusfysiikan (lämpö- ja kosteustekniikan) osaamisesta ennen koulutusohjelmaan osallistumista.
6. Oletko osallistunut aikaisemmin kosteusmittauskoulutukseen? Mihin?

Kysymyksen nro 4 kirjalliset vastaukset laitettiin ryhmiin 1-4 seuraavasti:

- 1) Ei ole tehnyt mittauksia ollenkaan
- 2) Ei ole tehnyt mittauksia, mutta tarkastelee mm. mittaustuloksia esimerkiksi tilaajan asemassa (Esimerkiksi: ”Ei omakohtaista kokemusta, olen nähnyt raportteja”. ”Teen tulosten pohjalta peruskorjauksia ja saneerauksia”, ”Tilaajan asemassa”).
- 3) On tehnyt vähäisissä määrin mittauksia (Esimerkiksi: ”2 kk”, ”Aina ollut mukana ja itse muutaman kerran”, ”Vähäinen, lähinnä päällystämislupa kosteusmittauksia”, ”Suorittanut mittauksia vanhemman tutkijan apuna”, ”Vähäinen”)
- 4) On tehnyt mittauksia useamman vuoden ajan (Esimerkiksi: ”12 vuotta”, ”2000 ->”, ”3 v”, ”vuodesta 98”, ”-99”. ”5 vuotta”, ”10 vuotta”, ”kui-vausalan yrityksessä vuodesta -80”).

Kysymyksen nro 5 vastaukset laitettiin luokkiin 1-3 seuraavasti:

Luokka 1 (Heikko):

Vastauksia: ”Ei kokemusta”, ”Tiedossa puutteita”, ”Hakusalla”, ”Vähäisissä määrin”, ”Lähinnä U-arvojen laskentaa”, ”Välttävä”, ”Ei suurempaa tietoa”, ”Huono”.

Luokka 2 (Kohtalainen):

Vastauksia: ”Jonkin verran tietämystä”, ”Tekussa saama rak.fysiikan opit, käytännössä en ole tarvinnut”, ”Käsitteistä jotenkin selvillä”. ”Keskinertainen, aihe vaikea”, ”Kohtalainen”, ”Jonkin verran, ei vahva alue”, ”Kohtuullinen”, ”Asteikolla 1-5 -> 3”, ”Keskitasoa”, ”Tyydyttävä”, ”Kouluarvosanalla 8”, ”Perusteet jokeenkin hallussa”, ”Kouluarvosanalla 7”, ”Luulen olevani osittain hajulla asiasta”, ”Kohtalainen tietämys, paljon opittavaa”, ”Perustiedot, ehkä tyydyttävä”, ”Keskinertainen”, ”Asteikolla 1-10, jotain 7”.

Luokka 3 (Hyvä):

Vastauksia: ”Aika hyvin”, ”Ihan jees, aina on kuitenkin opittavaa”, ”Kosteustekniikan osalta hyvä”, ” Noin vuoden täysipäiväinen työkokemus. ”Perusteet on hallinnassa, mutta lisätietoja ja osaamista kaipaan”, ”Kohtuullisen hyvin hallinnassa”, ”Hyvä”, ”Melko hyvä”, ”Varsin hyvä”, ” Omasta mielestä hyvät tiedot”.

TKK RAKENNE- JA RAKENNUSTUOTANTOTEKNIIKAN LAITOKSEN VÄITÖSKIRJOJA:

- TKK-R-VK1 Kruus, Matti
Suunnittelun ohjausta tukevien menettelyjen kehittäminen projektinjohtorakentamisessa, Helsinki 2008
- TKK-R-VK2 Majamaa, Wisa
The 4th P-People-in Urban Development Based on Public-Private-People Partnership, Espoo 2008
- TKK-R-VK3 Keinänen, Jyrki
Rakennusalan konfliktinratkaisujen kehittäminen, Espoo 2009
- TKK-R-VK4 Merikallio, Tarja
Betonilattian "riittävän" kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa, Espoo 2009

ISBN 978-951-22-9956-0
ISBN 978-951-22-9957-7 (PDF)
ISSN 1797-481X
ISSN 1797-4828 (PDF)